画法几何及工程制图

（第三版）

王之煦　吴元骥主编

浙江大学工程及计算机图学教研室编

浙江大学出版社

画法几何及工程制图

（第三版）

王之煦　吴元骥　主编
浙江大学工程及计算机图学教研室编

浙江大学出版社

画法几何及工程制图
（第三版）
王之煦　吴元骥　主编
浙江大学工程及计算机图学教研室　编
责任编辑　徐宝澍
*
浙江大学出版社出版
（杭州玉古路20号　邮政编码310027）
浙江大学出版社电脑排版中心排版
浙江省煤田地质局制图印刷厂印刷
浙江省新华书店发行
*
787×1092　16开　21.75印张　557千字
1985年9月第1版　1996年6月第3版　1999年3月第9次印刷
印数：80001－85000
ISBN 7-308-01784-2/TB・020　　定价：22.00元

第三版前言

《画法几何及工程制图》第二版出版以来，承兄弟院校、有关单位和广大读者的支持和采用，已先后印刷了8次。现为了贯彻画法几何及工程制图课委会1993年对本课程新的要求，并为配合新的制图国家标准的实施，对第二版进行了全面的修订。

这次主要按下列四个方面修订：

1. 按照高等学校工科画法几何及工程制图课程教学指导委员会最新制订的画法几何及工程制图教学基本要求（非机类专业适用）的精神进行了修订。

2. 根据我国最新实施的技术制图、机械制图及其有关标准，更新了相关内容。

3. 扩增第12章计算机绘图内容，达到本课程10学时的教学要求，并附有习题、上机实验等资料。本章内容包括配套的有关软件（包括基本图形及图形标注等子程序），同时备有与习题、上机实验相配合的计算机绘图上机演示实验软件。

4. 习题集经过多年使用。在征求教与学多方面的意见和要求的基础上，对习题集选题、分量、深度等作了较多的修订和改进，使其更好配合教材教学需要。

参加这次编写和修订的有（以章节先后为序）：王之煦（绪论、第1章、第8章中8.2～8.6节、第11章和附录1、4～11）、吴元骥（第2～4章和第7章）、尤绍权（第5章、第8章中8.1节、第9章和附录2、3）、施岳定（第6章和第10章）和卓守鹏（第12章）。由王之煦、吴元骥主编。

在这次修订中，得到兄弟院校、使用单位的大力支持，并提出了宝贵意见和建议，还得到浙江大学工程及计算机图学教研室很多老师的关心和帮助，我们一并表示衷心的感谢。

本书虽又经修订，我们努力使它完善，但囿于我们水平，还会存在一些问题和缺点，竭诚希望兄弟院校师生、广大读者提出批评和改进意见。

编　者

1995年10月

第一版前言

《画法几何及工程制图》是在我室多次编写《机械制图》、《工程制图》教材的基础上，参考1980年高等院校工科工程制图非机械、非土建类教学大纲，立足改革与创新以适应新的形势要求而编写成的。

本书具有如下特点：

1. 采用了我国1984年发布的国家标准《机械制图》及其有关新标准。
2. 在保证重点的基础上，教材内容力求简明扼要，删繁就简，突出基本要求。
3. 每章前有内容提要，每章后有思考问题。
4. 注意图形质量，必要时配以立体感较强的轴测图，这样有助于阐明问题和便于自学。

本书与《画法几何及工程制图习题集》配合使用，在教学中可根据各专业的具体情况及教学需要进行选用。

参加本书编写的有：王之煦（第一、十一章及附表），吴元骥（第二、三、四、七章），尤绍权（第五、九章），翁琴美（第六、十章），许喜华（第八章），卓守鹏（第十二章）。由王之煦、吴元骥主编，全书插图由金水棠描绘，并经许喜华润饰。

本书经张镇平副教授审阅全稿。

本书可作为高等理工科院校非机械、非土建类各专业的工程制图课程教材，也可供电视大学、函授大学、夜大学及其他职工业余大学有关专业师生使用和有关工程技术人员参考。

由于编者水平不高，书中一定存在不少缺点与不足之处，欢迎读者批评指正。

浙江大学工程制图教研室

1986年1月

目　　录

绪　论

一、研究对象

工程图样是表达和交流技术思想的重要工具，是工程技术部门的一项重要技术文件。它是根据投影原理、标准或有关规定，表示工程对象，并有必要的技术说明的图。设计人员通过图样来表达设计意图。工人在制造时，以图样作为生产依据。使用时，也要通过图样来了解机器或设备的结构和性能。所以工程技术人员必须熟练掌握这一工具，具备绘制和阅读图样的能力。

工程制图是以画法几何为理论根据，研究用投影法绘制工程图样和解决空间几何问题的原理和方法。因此本课程的研究对象，主要是画法几何、工程制图、计算机绘图和根据专业需要的有关制图内容。

二、课程的性质和任务

本课程是高等工科院校必修的一门技术基础课。它研究绘制和阅读工程图样的原理和方法。为了适应生产上对计算机辅助设计日益增长以及今后学习的需要，对计算机绘图技术应有所了解。

本课程的主要任务是：

1. 学习正投影法的基本原理及其应用。
2. 培养绘制和阅读机械图样的基本能力。
3. 培养图解简单空间几何问题的能力。
4. 培养对三维形状与相关位置的空间逻辑思维能力和形象思维能力。
5. 培养计算机绘图的初步能力。

此外，通过本课程的教学，还须培养自学能力、分析问题和解决问题的能力，以及认真负责的工作态度和严谨细致的工作作风。

三、课程的内容与要求

1. 画法几何

学习用正投影法表达空间几何形体和图解简单空间几何问题的基本原理和方法。

2. 制图基础

训练用仪器和徒手绘图的操作技能，培养绘制和阅读投影图的基本能力，学习标注尺寸的基本方法，这是本课程的重点。

3. 机械图

培养绘制和阅读常见机器或部件的零件图和装配图的基本能力，并以培养读图能力为重点。

4. 计算机绘图基础

初步了解计算机绘图的基本知识，学习简单图形的计算机绘制方法，为运用计算机进行辅助设计打好基础。

四、学习方法

本课程是一门既有理论、又有实践的技术基础课。因此，首先必须重视学习投影的基本原理和方法，重视培养分析表达形体能力、空间思维能力和投影作图能力。

通过与本教材配套的习题集相关作业来培养绘图和看图能力，因此必须重视在做作业的

实践中加深理解理论知识，并正确使用绘图仪器及工具，逐步掌握绘图技能。绘制作业应该做到：投影正确，视图选择与配置恰当，尺寸齐全，字体工整，整洁美观，符合标准。

掌握和遵守国家标准《机械制图》、技术制图及有关标准。懂得查阅附录中的标准和资料。

图样是生产中的主要依据，绘图和读图的差错都会给生产带来损失，所以做作业时，还必须养成耐心细致的工作作风和严肃认真的工作态度。

本课程只为学生打下绘图和读图的初步能力，在后继课程、生产实践中，还得注意继续学习和提高。

第 1 章　制图基本知识

内容提要　本章扼要介绍制图国家标准的一些有关规定、各种制图常用工具的用法以及几何图形的基本作图方法和步骤等内容。

1.1　制图的标准

在现代化的工业生产中，图样是主要的技术资料，为了便于生产和进行技术交流，对于图样的内容、格式、表达方法等等，必须要有一个统一的规定。为此我国于 1959 年制订了国家标准《机械制图》，并进行了几次修订。现在我们使用的是 1984 年修订的《机械制图》和近年来新修制订的制图国家标准。

我国国家标准的代号为“GB”，是由“国标”二字的汉语拼音字母的第一个字母“G”和“B”组成，字母后面的两组数字，分别表示标准顺序号和标准批准的年份，例如“GB4458.1 — 84 机械制图 图样画法”即表示制图标准：图样画法，顺序号 4458 之 1，批准发布年份为 1984 年。

现在先简要介绍图纸幅面和格式、比例、字体、图线、剖面符号、尺寸注法等制图标准，其余部分将在有关章节中阐述。

1.1.1　**图纸幅面和格式**(GB/T[1]14689 — 93)

1. 图纸幅面尺寸

绘制图样时，应采用表 1-1 中所规定的图纸基本幅面尺寸。表中幅面代号意义见图 1-1、图 1-2。

表 1-1　图纸基本幅面尺寸　mm

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
$B \times L$	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297
a	25				
c	10			5	
e	20		10		

必要时，也允许选用所规定的加长幅面。这些幅面的尺寸是由基本幅面的短边成整数倍增加后得出。

2. 图框格式

在图纸上必须用粗实线画出图框，其格式分为不留装订边(如图 1-1 所示)和留有装订边(如图 1-2 所示)两种，但同一产品的图样只能采用一种格式。

1.1.2　**比例**(GB/T　14690 — 93)

比例是图中图形与其实物相应要素的线性尺寸之比。需要按比例绘制图样时，应由表 1-2

[1] 注：GB/T 为推荐性国家标准，详见附表 11。

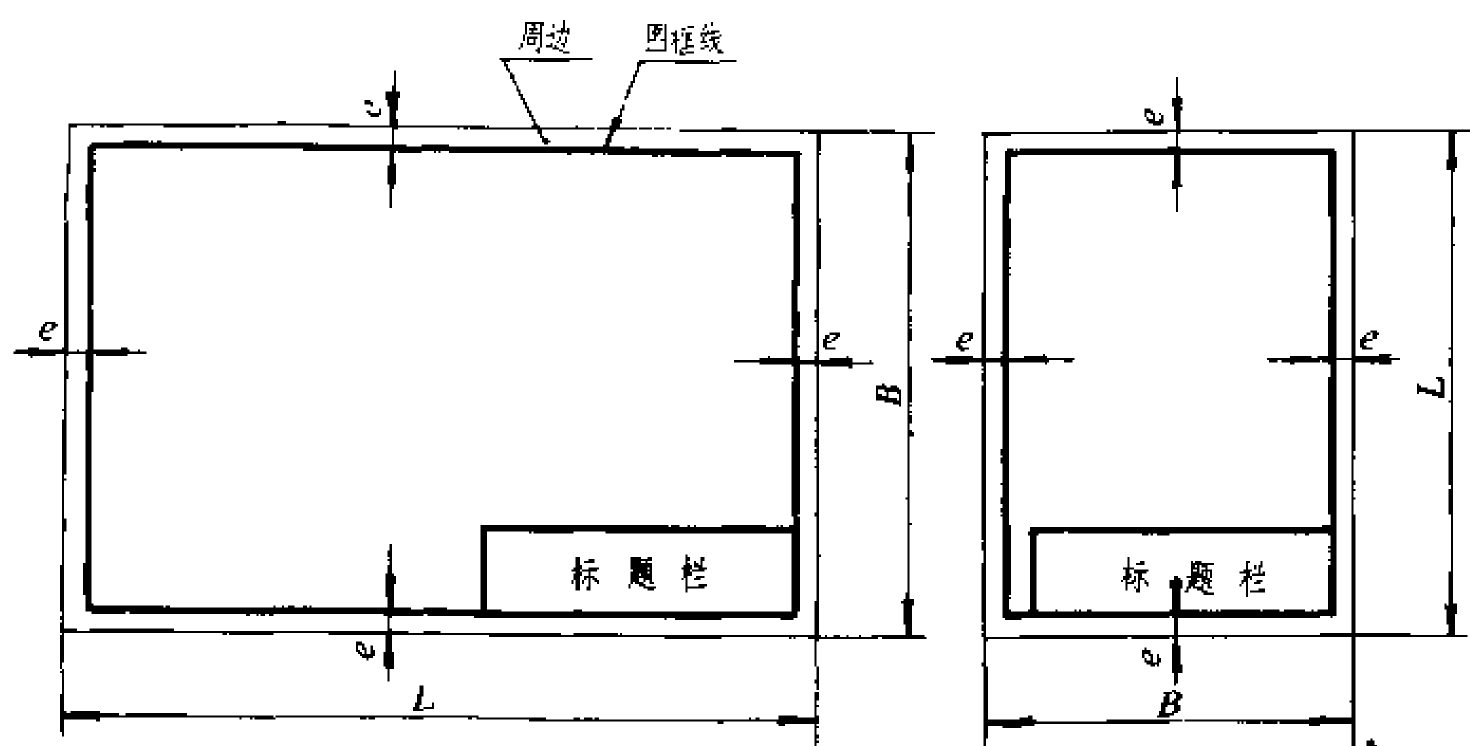


图 1-1 不留装订边的图框格式

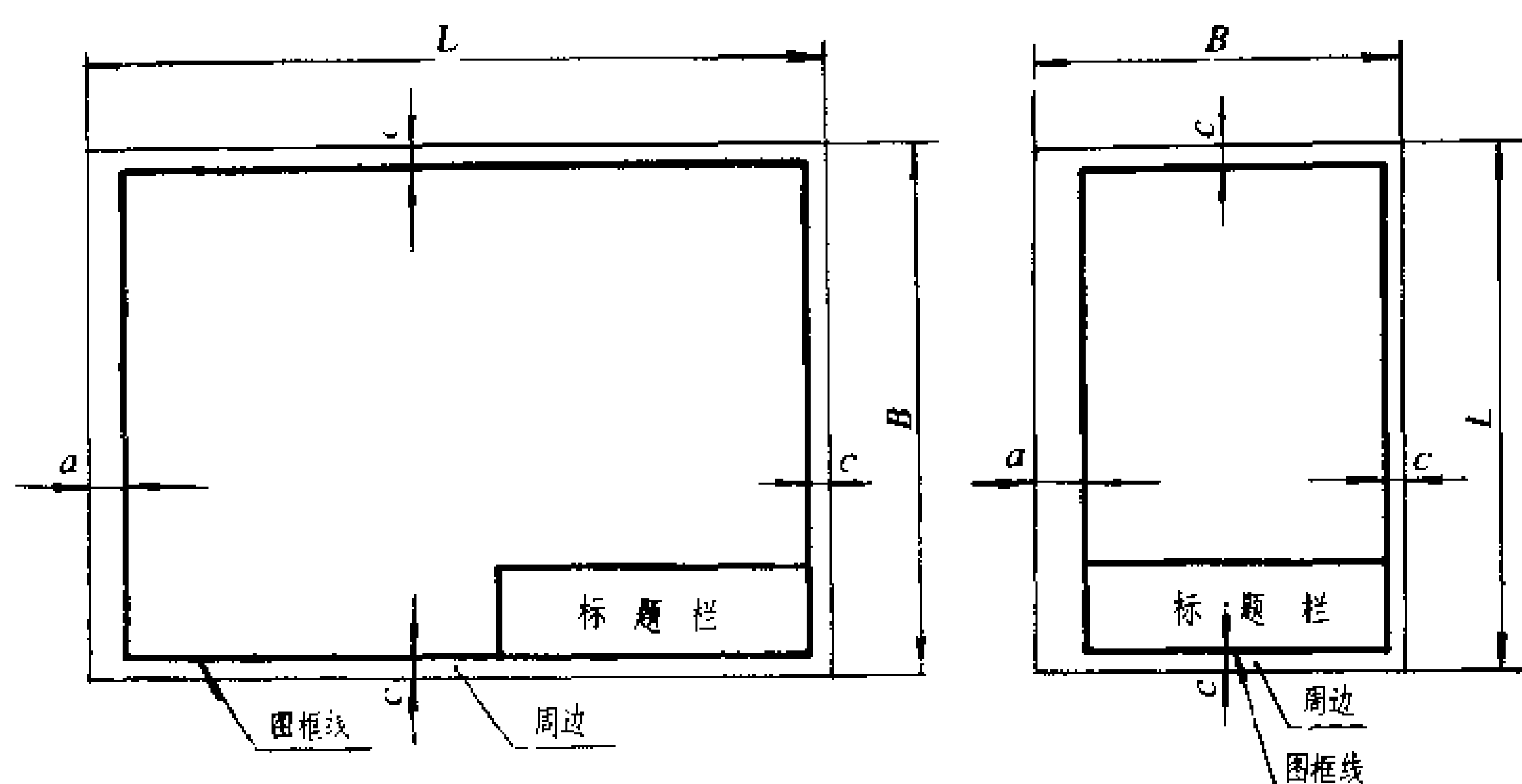


图 1-2 留有装订边的图框格式

规定的系列中选取适当的比例。必要时，也允许选取表 1-3 中的比例。

表 1-2 由规定的系列中选取适当的比例

种 类	比 例		
原值比例	1∶1		
放大比例	5∶1	2∶1	
	5×10^n∶1	2×10^n∶1	1×10^n∶1
缩小比例	1∶2	1∶5	1∶10
	1∶2×10^n	1∶5×10^n	1∶1×10^n

表 1-3 必要时，也允许选取的比例

种 类	比 例				
放大比例	4∶1	2.5∶1			
	4×10^n∶1	2.5×10^n∶1			
缩小比例	1∶1.5	1∶2.5	1∶3	1∶4	1∶6
	1∶1.5×10^n	1∶2.5×10^n	1∶3×10^n	1∶4×10^n	1∶6×10^n

注：n 为正整数。

比例符号应以"∶"表示。比例的表示方法如 1∶1、1∶500、20∶1 等。

比例一般应标注在标题栏中的比例栏内。必要时,可在视图名称的下方或右侧标注比例,如:

$$\frac{\mathrm{I}}{2:1} \qquad \frac{A\text{向}}{1:100} \qquad \frac{B-B}{2.5:1} \qquad \underline{\text{平面图}}\ 1:100$$

1.1.3 **字体(GB/T 14691 — 93)**

图样中书写的字体必须做到:字体工整、笔画清楚、间隔均匀、排列整齐。

字体高度(用 h 表示)的公称尺寸系列为:1.8,2.5,3.5,5,7,10,14,20mm。字体高度代表字体的号数。

如需要书写更大的字,其字体高度应按 $\sqrt{2}$ 的比率递增。

汉字应写成长仿宋体字,并应采用我国正式推行的简化字。汉字的高度不应小于 3.5mm,其字宽一般为 $h/\sqrt{2}$。

汉字的基本笔画为点、横、竖、撇、捺、提、折、钩。长仿宋体书写时在起落笔处均呈三角形,它的笔画见表 1-4。

表 1-4 汉字的基本笔画

笔划分析	名称	点	横	竖	撇	捺	提	折	钩
	运笔要领	起笔后顿	横平、起落顿笔	竖直、起落顿笔	起笔顿、由重而轻、提笔快捷	起笔轻、逐渐用力、提笔快捷	起笔顿、由重而轻、提笔快捷	重笔转折、顿笔刚劲	折钩顿笔、提笔快捷
	书法示例	丶	一	丨	丿	㇏	㇀	㇕㇆	㇄㇂亅
		丶	一	丨	丿	㇏	㇀	㇕㇆	㇄㇂亅
字例		字	正	隔	体	楚	均	间	笔
		端	列	清	整	齐	排	匀	划

注:汉字的基本笔画不属标准内容。

字母和数字分 A 型和 B 型。字体的笔画宽度用 d 表示。A 型字体的笔画宽度 $d = h/14$,B 型字体的笔画宽度 $d = h/10$。

在同一图样上,只允许选用一种型式的字体。

字母和数字可写成斜体和直体。斜体字字头向右倾斜,与水平基准线成 75°。绘制图样时,一般用 B 型斜体字。

图 1-3 为长仿宋体汉字。图 1-4 为 B 型斜体拉丁字母示例。图 1-5 为 B 型斜体数字示例。

1.1.4 **图线(GB4457.4 — 84)**

图样中各种图线的名称、型式、代号、宽度以及在图上的应用见表 1-5。图线的宽度分粗、细两种,粗线的宽度 b 应根据图的大小和复杂程度,在 0.5 — 2mm 之间选择;细线的宽度约为 $b/3$。图线宽度的推荐系列为 0.18,0.25,0.35,0.5,0.7,1,1.4,2mm。

10 号字

字体工整笔画清楚间隔均匀排列整齐

7 号字

横平竖直注意起落结构均匀填满方格

5 号字

技术制图机械电子汽车航空船舶土木建筑矿山井坑港口纺织服装

图 1-3　长仿宋体汉字示例

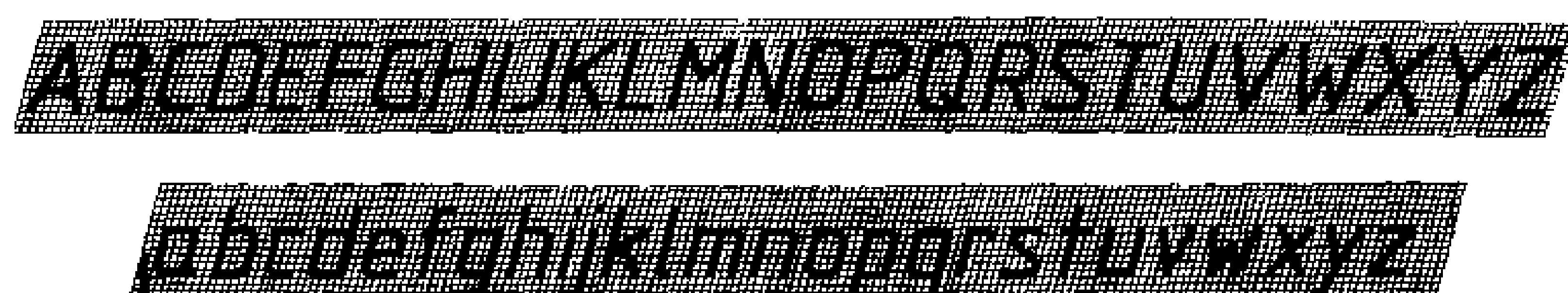


图 1-4　拉丁字母示例

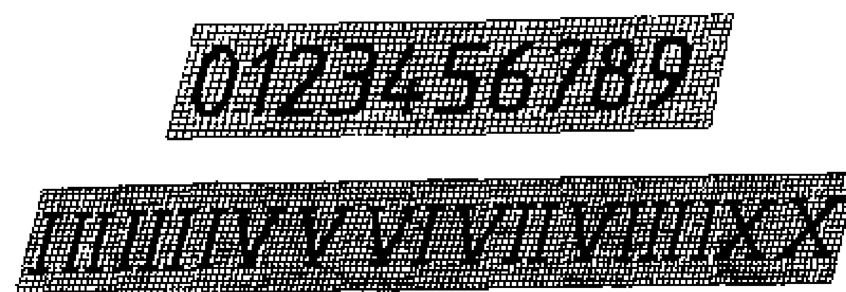


图 1-5　阿拉伯数字与罗马数字示例

表 1-5　图线的名称、型式、代号、宽度及其应用

图线名称	图线型式及代号	图线宽度	一般应用
粗实线	———— A	b	A1 可见轮廓线 A2 可见过渡线
细实线	———— B	约 $b/3$	B1 尺寸线及尺寸界线 B2 剖面线 B3 重合剖面的轮廓线 B4 螺纹的牙底线及齿轮的齿根线 B5 引出线 B6 分界线及范围线 B7 弯折线 B8 辅助线 B9 不连续的同一表面的连线 B10 成规律分布的相同要素的连线

续　　表

波浪线	～～～～～ C	约 $b/3$	C1 断裂处的边界线 C2 视图和剖视的分界线
双折线	——√——√—— D	约 $b/3$	D1 断裂处的边界线
虚　线	— — — — — F	约 $b/3$	F1 不可见轮廓线 F2 不可见过渡线
细点划线	——— · ——— G	约 $b/3$	G1 轴线 G2 对称中心线 G3 轨迹线 G4 节圆及节线
粗点划线	━━ - ━━ J	b	J1 有特殊要求的线或表面的表示线
双点划线	——— - - ——— K	约 $b/3$	K1 相邻辅助零件的轮廓线 K2 极限位置的轮廓线 K3 坯料的轮廓线或毛坯图中制成品的轮廓线 K4 假想投影轮廓线 K5 试验或工艺用结构(成品上不存在)的轮廓线 K6 中断线

同一图样中同类图线的宽度应基本一致。虚线、点划线、双点划线的长度应各自大致相等，一般在图样中要显得匀称协调，建议采用图 1-6 的图线规格。

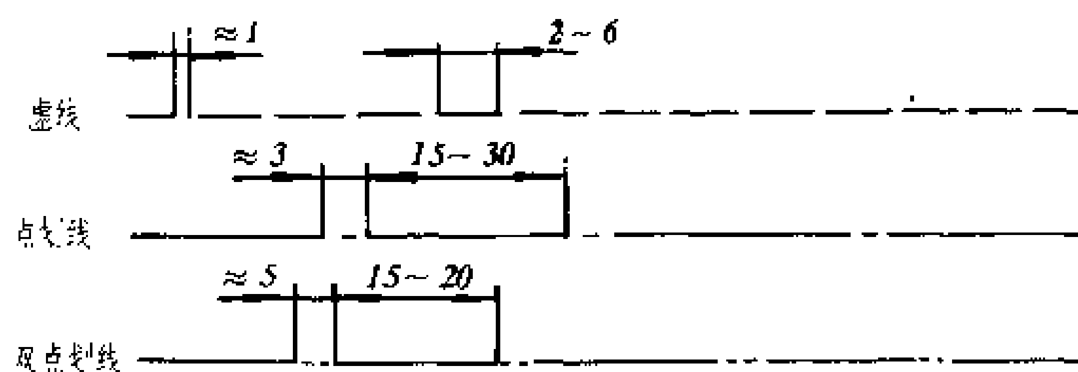


图 1-6　建议采用的图线规格

画点划线和虚线时，还应遵守图 1-7 的画法，在较小的图形上绘制点划线或双点划线有困难时，可用细实线代替。

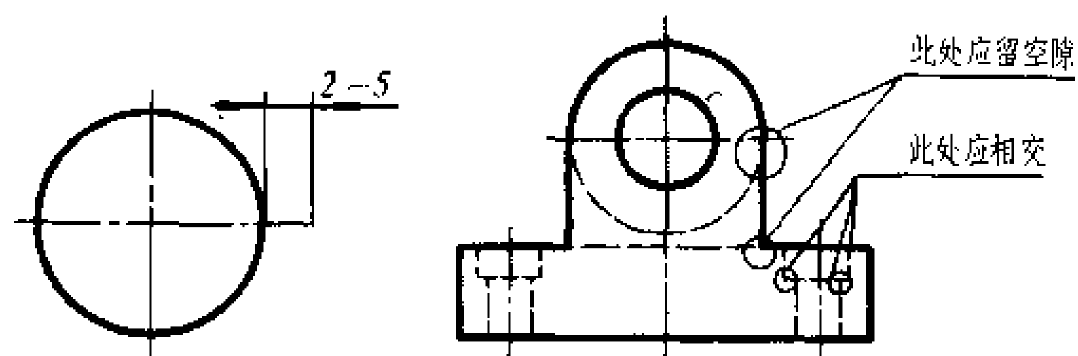


图 1-7　画点划线和虚线应遵守的画法

图线一般应用示例如图 1-8 所示。

1.1.5　**剖面符号**(GB4457.5 — 84)

在剖视和剖面图中，应采用表 1-6 的剖面符号。

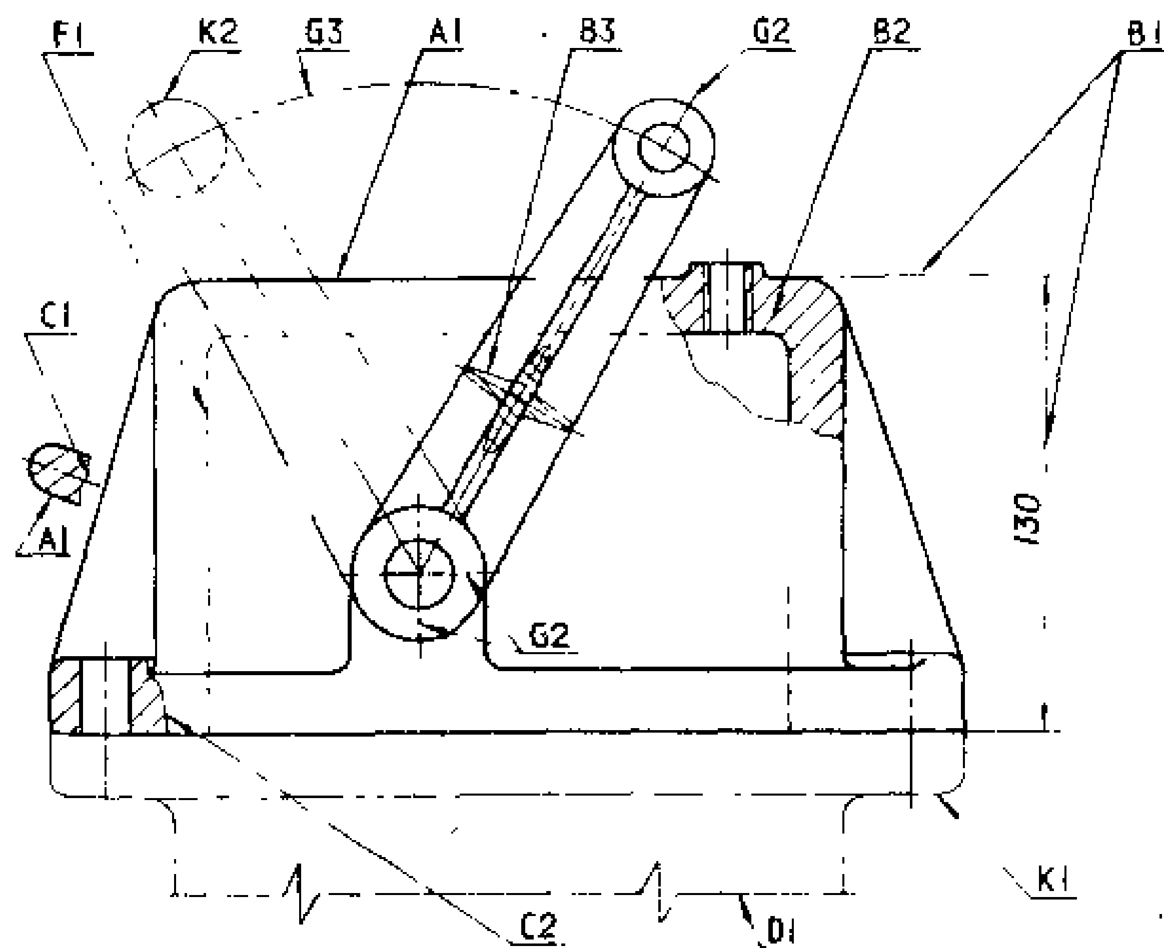


图 1-8 图线应用示例

表 1-6 剖面符号

金属材料	线圈绕组元件	混凝土	钢筋混凝土	砖
木质胶合板（不分层数）	玻璃及其他透明材料	格网（筛网、过滤网等）	液体	基础周围泥土
转子、电枢、变压器和电抗器等的迭钢片	非金属材料（已有规定剖面符号者除外）	型砂、填砂、粉末冶金、砂轮、陶瓷刀片及硬质合金刀片等	纵剖面	横剖面
			木材	

剖面符号仅表示材料类别，至于材料名称和代号必须另行注写清楚。金属材料的剖面符号规定用细实线画成间隔相等、方向相同、且与水平线成 45° 的平行线，平行线之间的距离大小国家标准未作规定，可根据图形大小和剖面复杂程度，在 1 — 6 毫米范围内选择。但同一个零件在各个视图中的剖面线方向（即与水平线成 45° 的方向）和间隔距离都要相同。

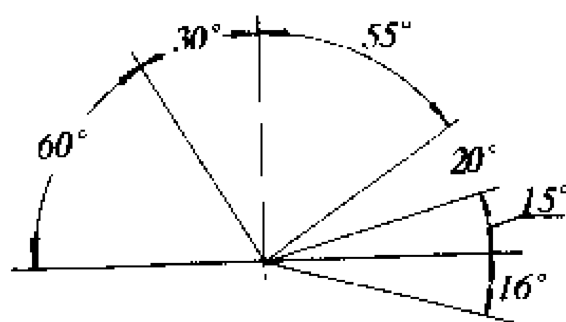
1.1.6 **尺寸注法**(GB 4458.4 — 84)

尺寸注法的基本规则，列表说明于表 1-7。对于尺寸注法，在第 6 章、第 9 章有关章节中将作进一步介绍。

表 1-7　尺寸注法基本规则

说　　明	图　　例
1. 机件的真实大小应以图样上所注的尺寸数值为依据，与图形的大小及绘图的准确无关。 2. 图样中的尺寸单位为毫米，此时不需注明。 3. 机件的每一尺寸，一般只注一次，并注在表示该结构最清晰的图形上。 4. 图样中所标注的尺寸，为该图样所示机件的最后完工尺寸，否则应另加说明。	1:1　18　20　8　30　1:2　18　20　8　30
1. 尺寸一般由 ① 尺寸界线、② 尺寸线、③ 尺寸数字组成。 2. 尺寸线用细实线绘制，其终端有两种形式： *a.* 箭头：适用于各种类型的图样。 *b.* 斜线：斜线用细实线绘制，其方向和画法如图所示，此时尺寸线与尺寸界线必须互相垂直。 当尺寸线与尺寸界线相互垂直时，同一张图样中只能采用一种尺寸线终端形式。当采用箭头时，在地位不够的情况下，允许用圆点或斜线代替箭头。 3. 尺寸线与所注尺寸平行。 4. 尺寸界线用细实线绘制，并应由图形的轮廓线、轴线或对称中心线处引出。也可利用轮廓线、轴线或对称中心线作尺寸界线。	34　尺寸界线　尺寸线　30　尺寸数字　25　300　160　14　586　100　534 ≈4*b*　*h* *b*＝图线宽度 45° *h*＝字体高度
1. 线性尺寸数字一般应注写在尺寸线上方，如图 1-9，也允许注写在尺寸线中断处。 2. 线性尺寸数字的方向，一般应按右图(*a*)所示方向注写，并尽可能避免在图示 30° 范围内标注尺寸，当无法避免时可按右图(*b*)形式标注。 3. 在不致引起误解时，也允许将非水平尺寸的数字水平地注写在尺寸线的中断处，如右图(*c*)。但在一张图样中，应尽可能采用一种方法。	30°　20　20　20　20　20　20　20　20　20　20　20　20　30°　(a) 16　16　(b) 70　30　32　(c)

标注角度的数字一律应水平填写在尺寸线中断处，必要时也可按右图形式允许将数字写在尺寸线旁边，或引出标注。尺寸线用圆弧时，圆心为角度顶点。

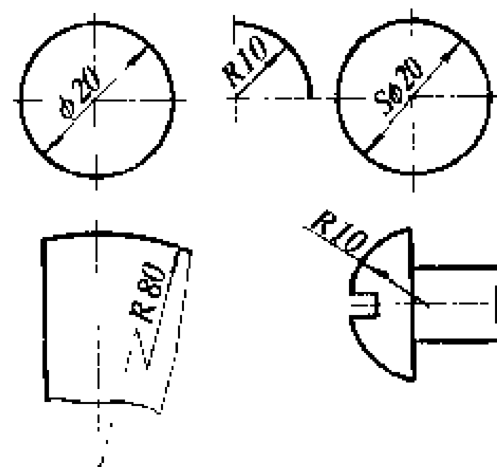


1. 标注直径尺寸时应在数字前加符号“φ”，标注半径尺寸时应在数字前加符号“*R*”，标注球面尺寸时应在数字前面加符号“*S*φ”或“*SR*”。

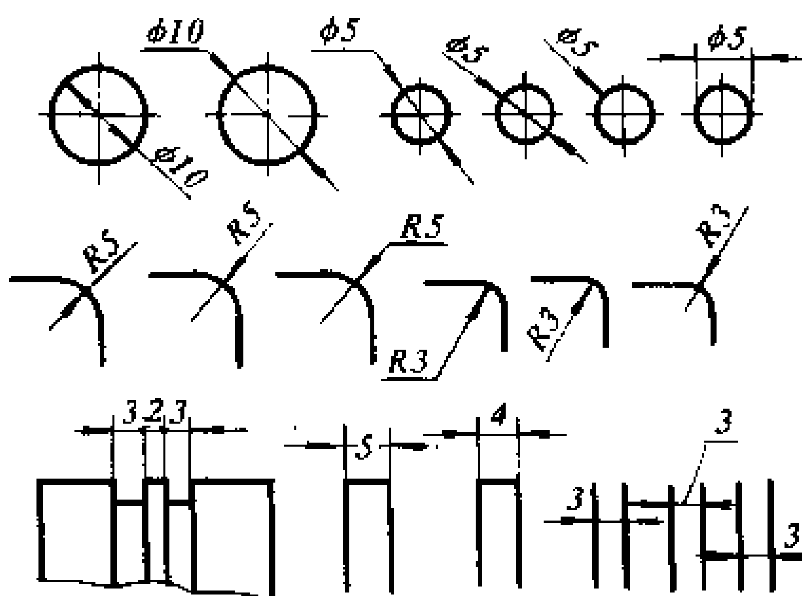
2. 对于螺钉、铆钉、轴类端部的球面，在不致引起误解的情况下允许省略符号“*S*”。

3. 圆的直径和圆弧半径的尺寸线终端应画成箭头。

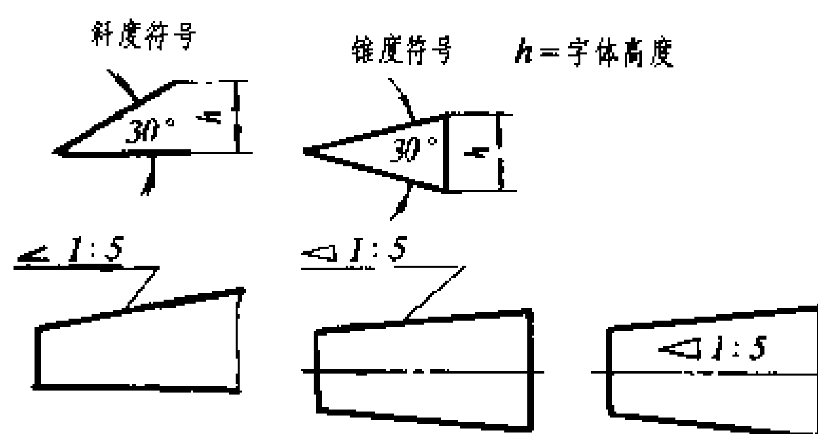
4. 当圆弧的半径过大或在图纸范围内已无法标出其圆心位置时，可如右图的形式标注。



在没有足够的位置画箭头或写数字时，尺寸可按右图形式标注。



标注斜度和锥度时，用规定的符号表示，符号所示方向应与斜度和锥度方向一致。



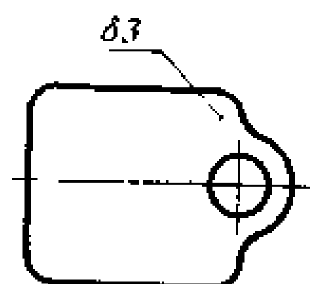
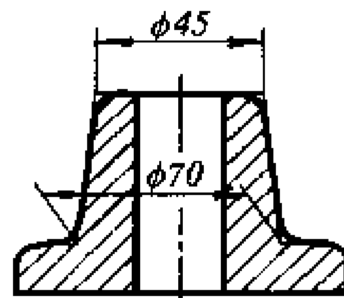
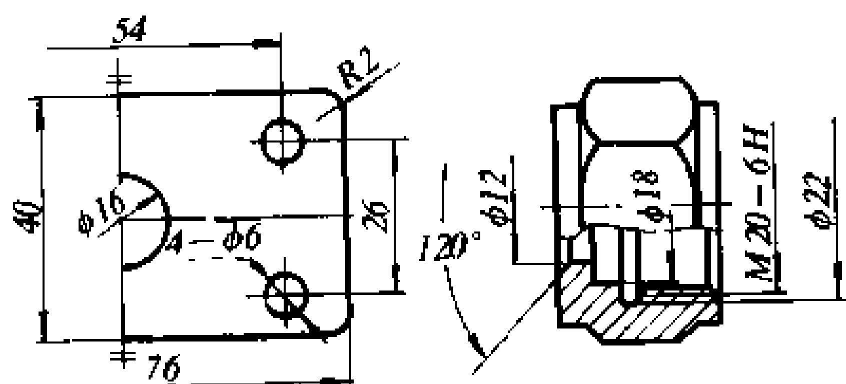
只用一个视图表示的片状零件，其厚度可用符号“δ”表示。如右图中“δ3”表示板厚为3毫米。	
在光滑过渡处标注尺寸时，必须用细实线将轮廓线延长，从它们的交点引出尺寸界线。	
对称机件的图形，如只画出一半或大于一半时，尺寸线应略超过对称中心线或断裂线，此时仅在尺寸线的一端画箭头。	

图1-9是已标注尺寸的图样的示例。

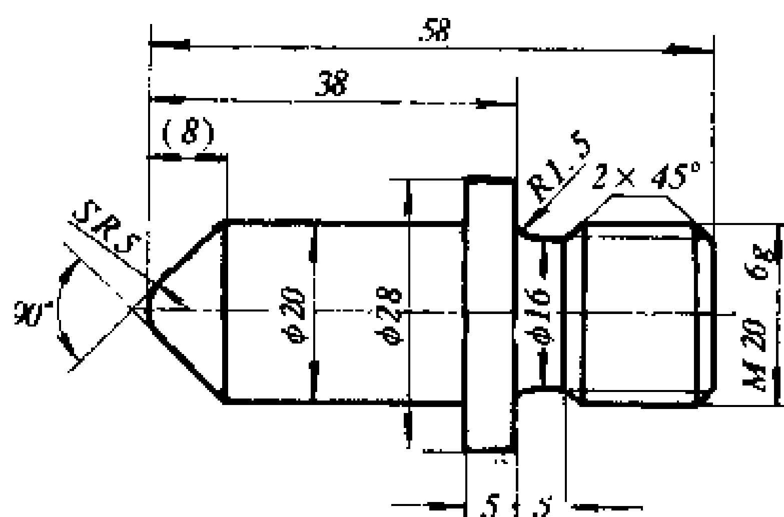


图1-9　图样的尺寸标注

1.2　制图工具及仪器用法

制图时要求图画得又好又快，就要正确使用制图工具及仪器。

常用的制图工具及仪器有图板、丁字尺、圆规、三角板等，如图1-10所示。

制图用品包括铅笔、图纸、橡皮、胶带纸、小刀等等。在制图前应尽量把这些工具、仪器、用品准备齐全。

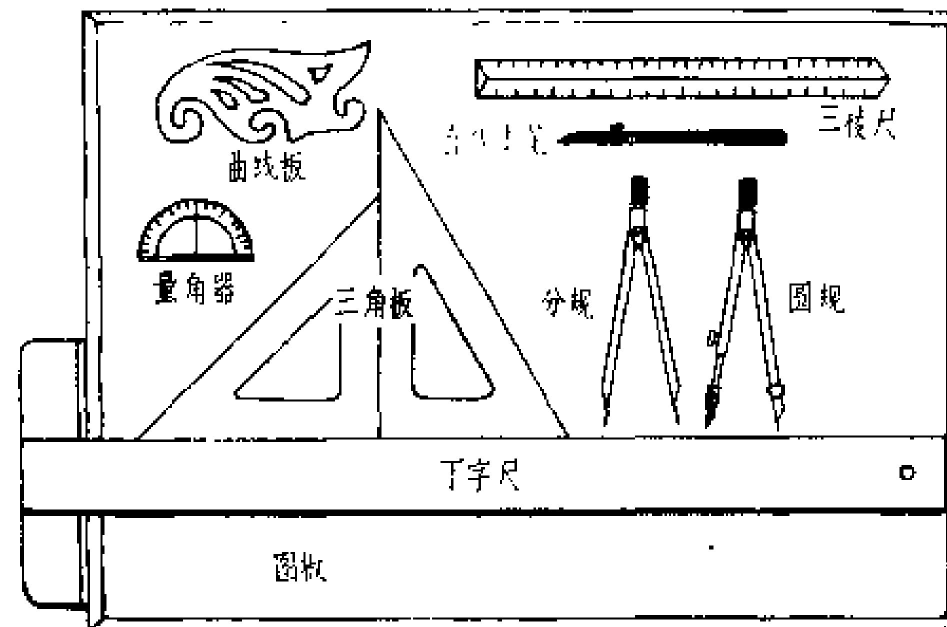


图 1-10　制图主要工具及仪器

下面分别介绍各种工具及仪器的使用方法。

1.2.1　图板与丁字尺

图板用作画图时的垫板，图纸用胶带纸固定在图板上。丁字尺与图板配合使用，主要用来画水平线，如图 1-11。

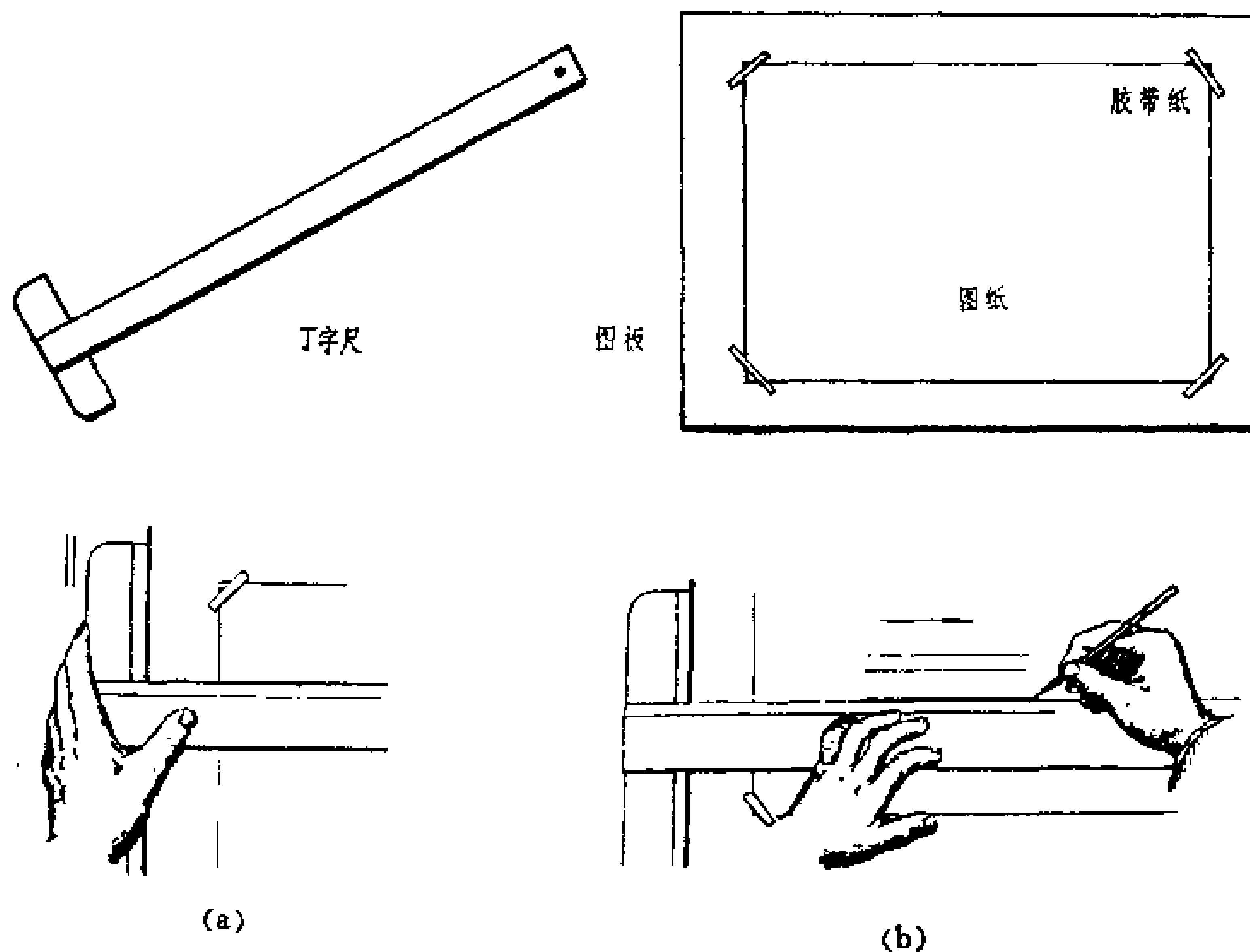


图 1-11　图板与丁字尺的用法

1.2.2　一字尺

一字尺的作用相当于丁字尺，因为有滑轮及绳子将尺身固定，所以尺身始终保持水平位

置，又能上下移动，且不脱离图板，所以用起来亦很方便，如图 1-12 所示。

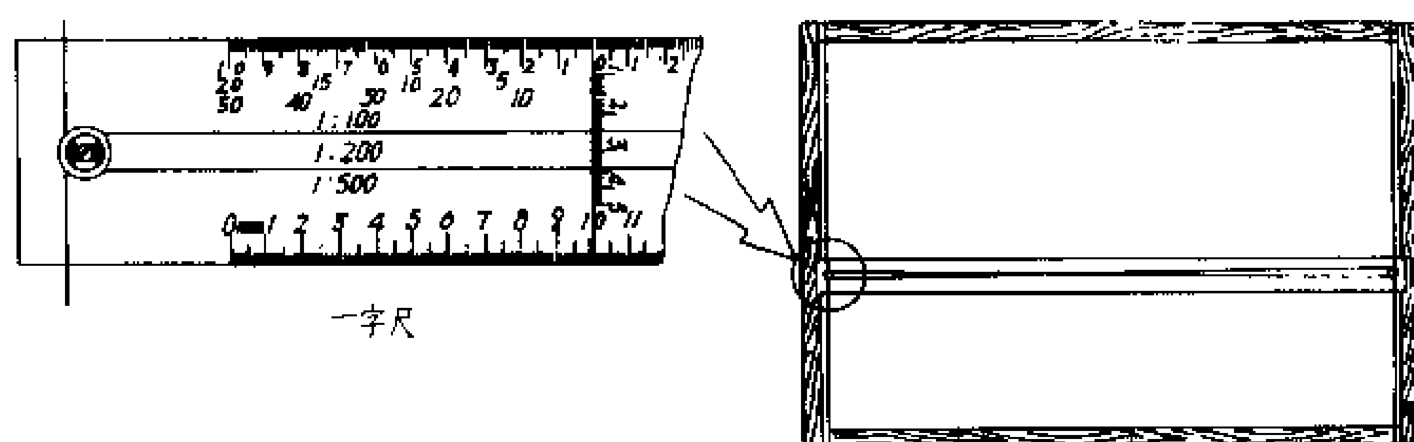


图 1-12　一字尺的用法

1.2.3　三角板

一副三角板有两块，一块是 45° 三角板，另一块是 30° 和 60° 三角板。三角板和丁字尺配合使用，可画垂直线和 30°、45°、60° 以及 $n\times15°$ 的各种斜线，如图 1-13 所示。

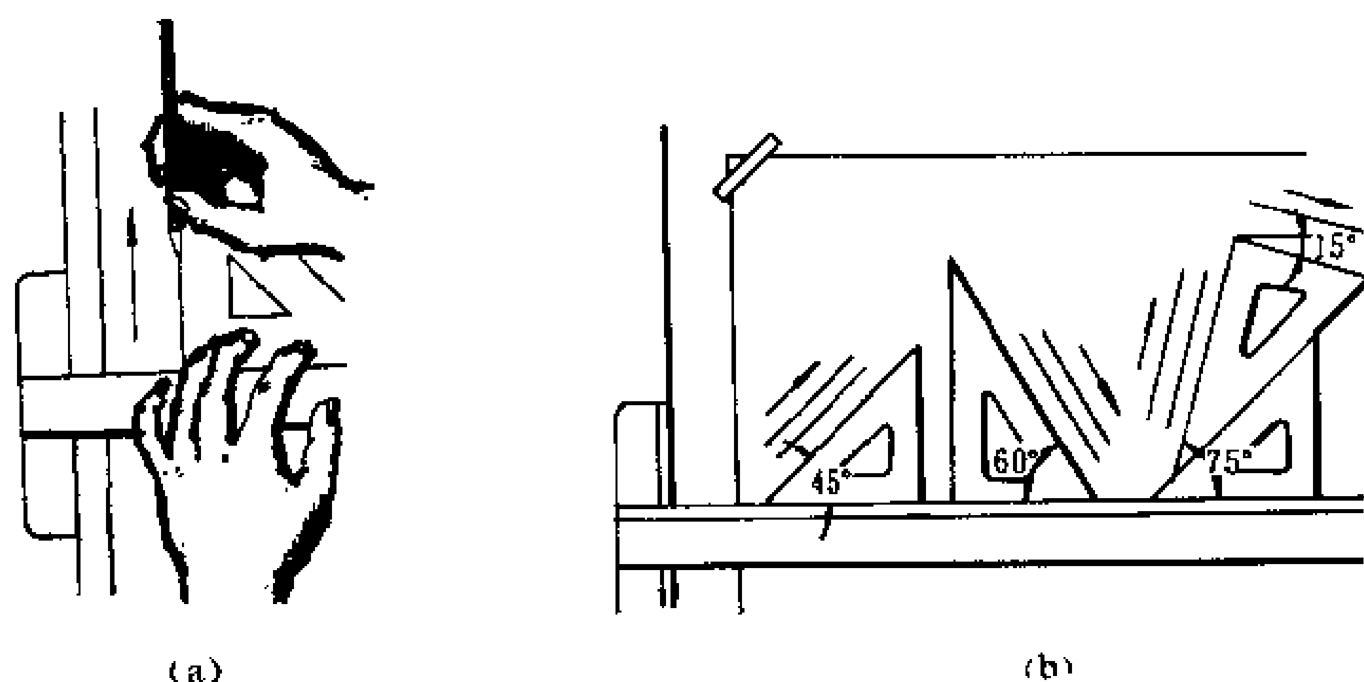


图 1-13　三角板的用法(一)

此外，利用一副三角板，还可画出已知直线的平行线或垂直线，如图 1-14 所示。

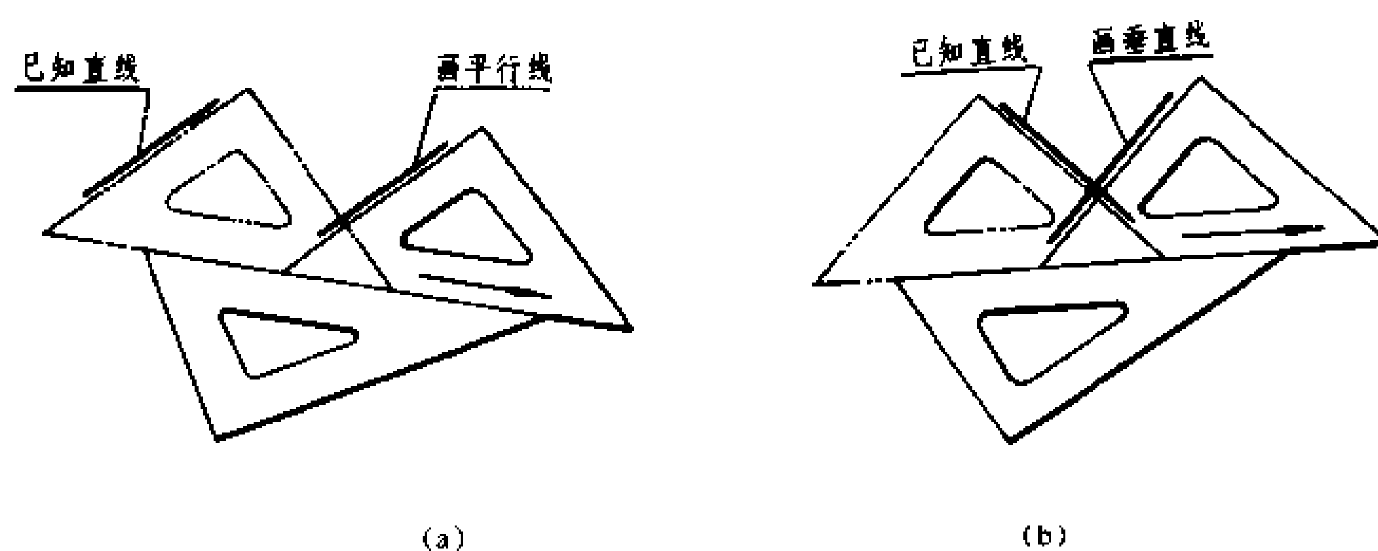


图 1-14　三角板的用法(二)

1.2.4　三棱尺

三棱尺是常用的比例尺，它只用来量取尺寸，不可用来画直线。在它的三个面上刻有六种

不同比例的尺度，以便按规定比例来作图，不必另行计算。如图 1-15 所示，图 a 表示利用分规在三棱尺上截取长度，图 b 是把三棱尺放在图线上直接量取长度。

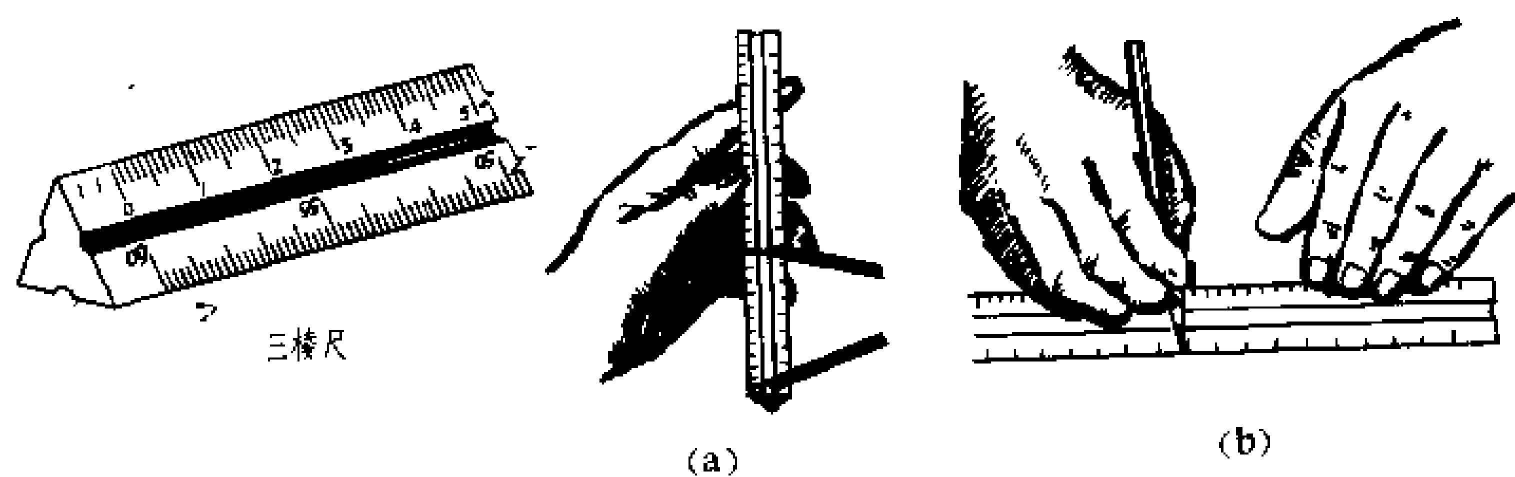


图 1-15　三棱尺的用法

1.2.5　圆　规

圆规用来画圆和圆弧，如图 1-16 所示。成套的圆规有三只插脚和一支延伸杆，见图 a；圆规自身的针有两个尖端，见图 b；图 c 表示画圆弧时，针尖插入图板的情况；图 d 表示画不同直径的圆弧时、针尖、插脚与纸面的相对位置；图 e 表示用延伸杆画大圆弧的情况。

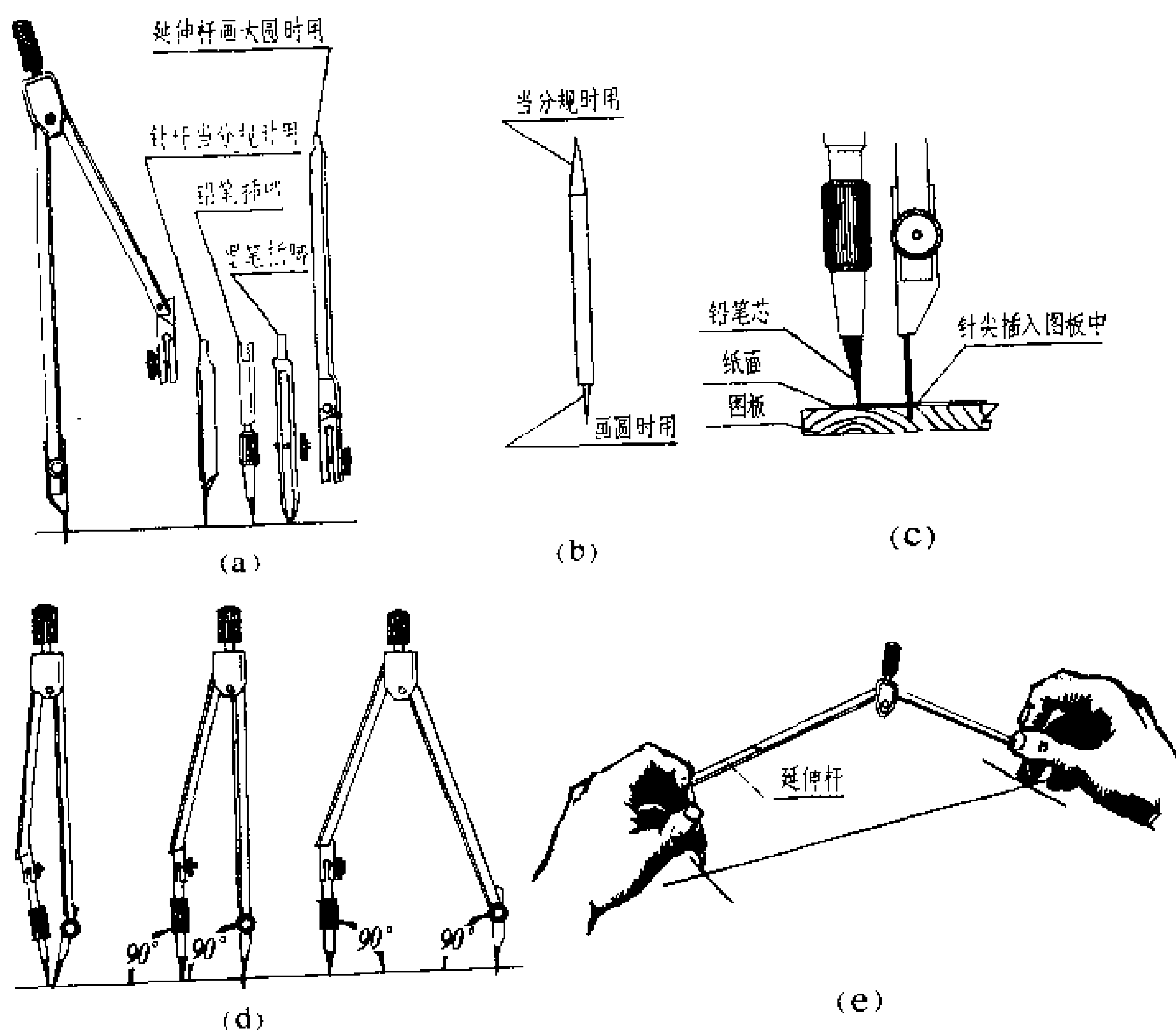


图 1-16　圆规用法

1.2.6　分　规

分规用以截取尺寸，如图 1-17 所示，先用分规在三棱尺上量取所需尺寸（见图 a），然后再量到图纸上去（见图 b）。

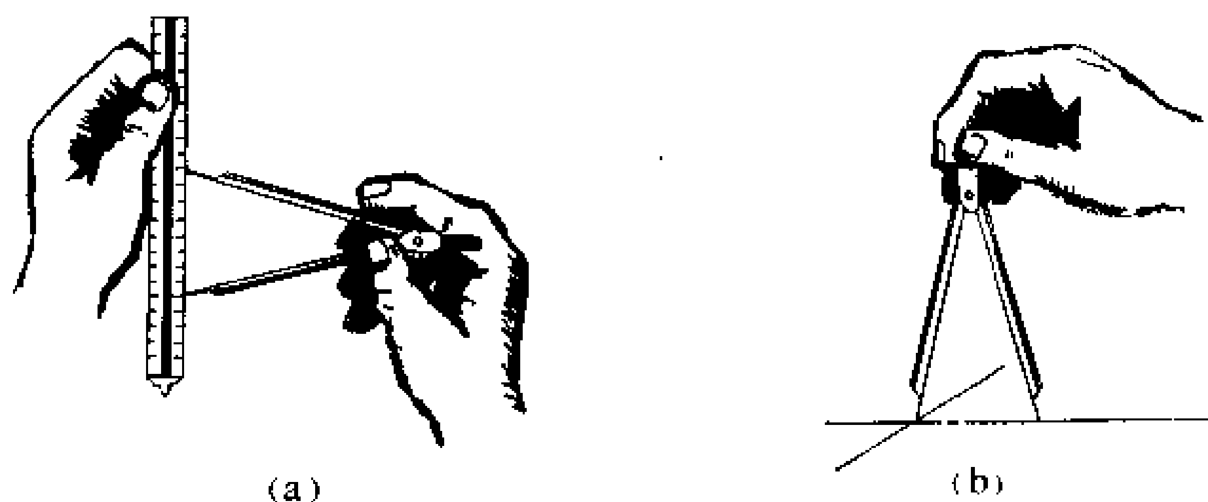


图 1-17 分规的用法

1.2.7 直线墨笔

直线墨笔是上墨线的主要工具，如图 1-18 所示。直线墨笔叶片部分的结构见图 a，其上调节螺钉用来调节两叶片之间的距离；往叶片内加注墨水时应用图 b 所示细管，注意不要染及叶片外侧，更不要将直线墨笔直接插入墨水瓶内，装墨高度约为 5 ～ 8mm，为了避免移动尺时拖渗墨汁，应用图 c 所示斜角尺来画直线；画线时，直线墨笔应与纸面垂直，且笔杆应稍微倾斜于画线方向，如图 d，e；图 f 所示为不正确的画线方法，由于直线墨笔与纸面没有垂直，因此所画线条很不光滑。

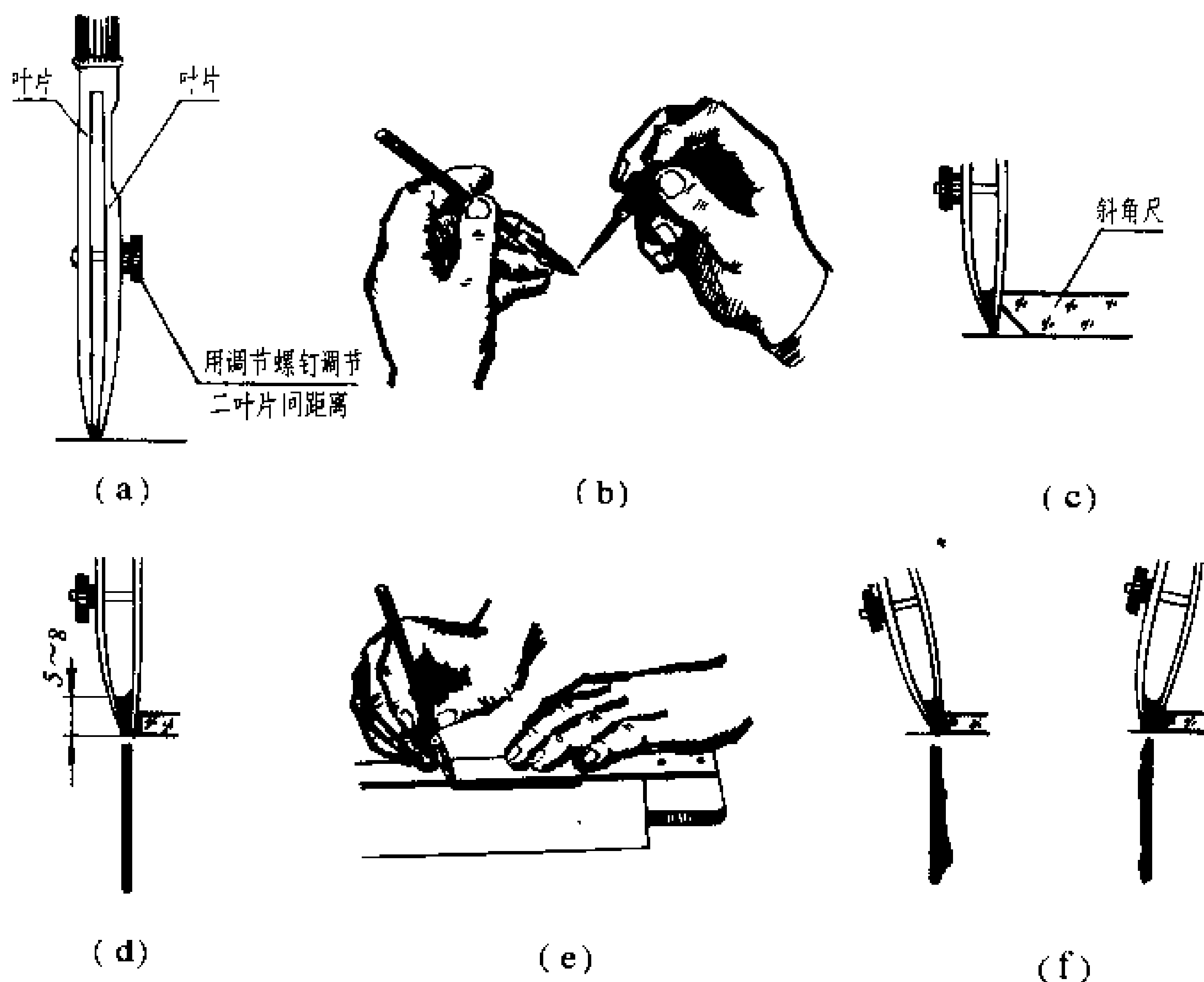


图 1-18 直线墨笔的用法

1.2.8 针管绘图笔

针管绘图笔（图 1-19）是带有储水装置的上墨工具，适用于技术制图、描图描字、模板绘图、美术设计等。由于使用方便，储水量大，生产、设计单位已常用针管笔代替储水量小的直线

墨笔进行描图。

我国已有 0.2～1.2mm 9 种针管笔，可供描绘不同粗细的各种图线使用。所用墨水是专用的碳素墨水。画线时笔杆倾斜度约为 80°～85°，不能反方向画线。图 1-19a 表示配合直尺画直线。如装上连接杆，可用以与模板绘图、写字（图 1-19b）。如果利用圆规夹插入圆规脚内，可以画圆（图 1-19c 和 d）。

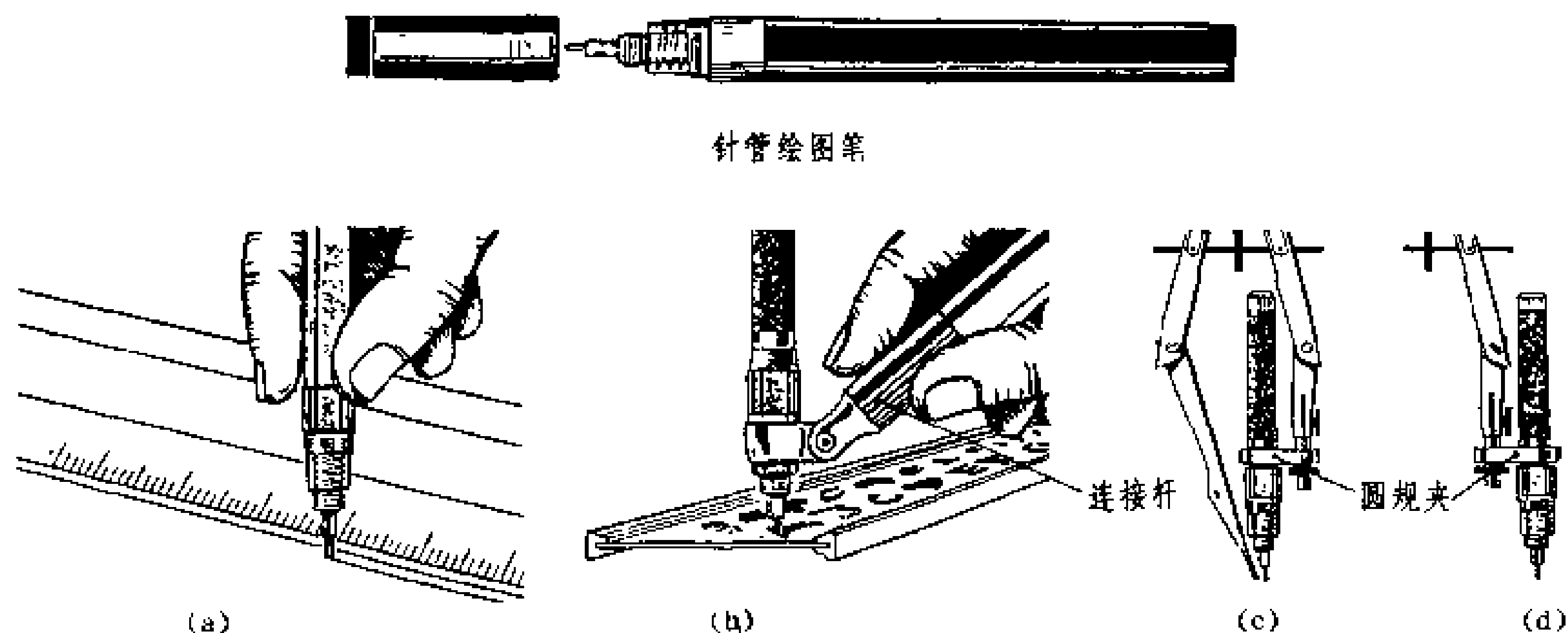


图 1-19　针管绘图笔

1.2.9　铅　笔

绘图用铅笔的铅芯分别用 B 和 H 表示其软、硬程度。绘图时根据不同使用要求，应备有以下几种硬度不同的铅笔：

B 或 HB—— 画粗实线用；

H 或 HB—— 写字用；

H 或 $2H$—— 画细线用。

画粗实线的铅笔芯磨成凿形，见图 1-20a，其余可磨成锥形，见图 1-20b。

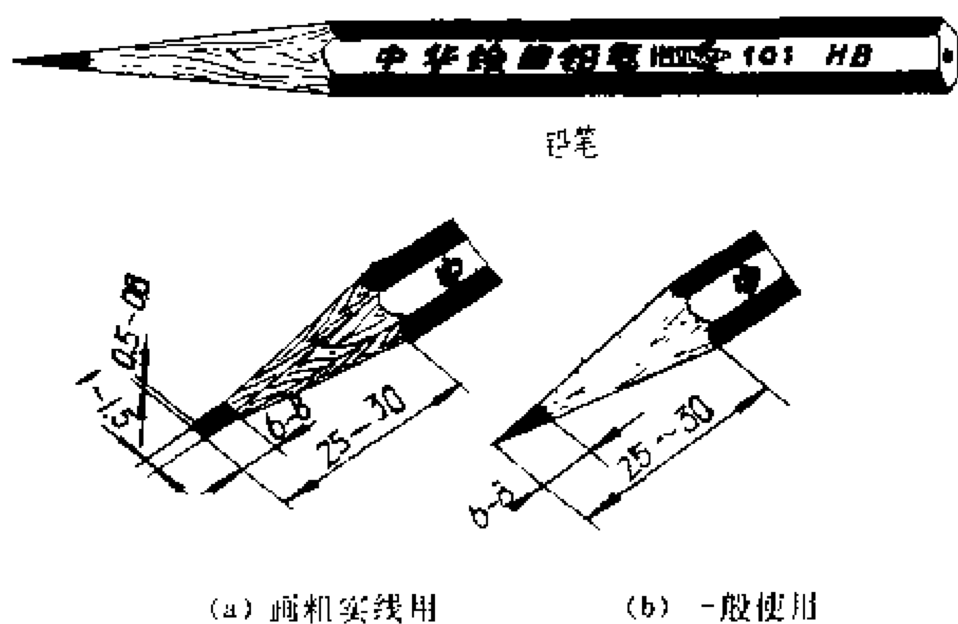


图 1-20　铅　笔

1.2.10　曲线板

曲线板是用来画非圆曲线，如图 1-21 所示。其用法是：

(1) 由作图求得一曲线上若干点，如图 1-21a。

(2) 用铅笔轻轻地把各点连起来，如图 1-21b。

(3) 选择曲线板上曲率适合的部分，逐步分段画成，如 1,2,3 这一段与曲线板上某一段是吻合的即可画出，画时每段应不少于三点，如图 1-21c。

(4) 再移动曲线板使之与以后几点吻合。但必须注意的是，后者必须要和上次所画的一段重迭一部分，这样才能保证连接光滑。

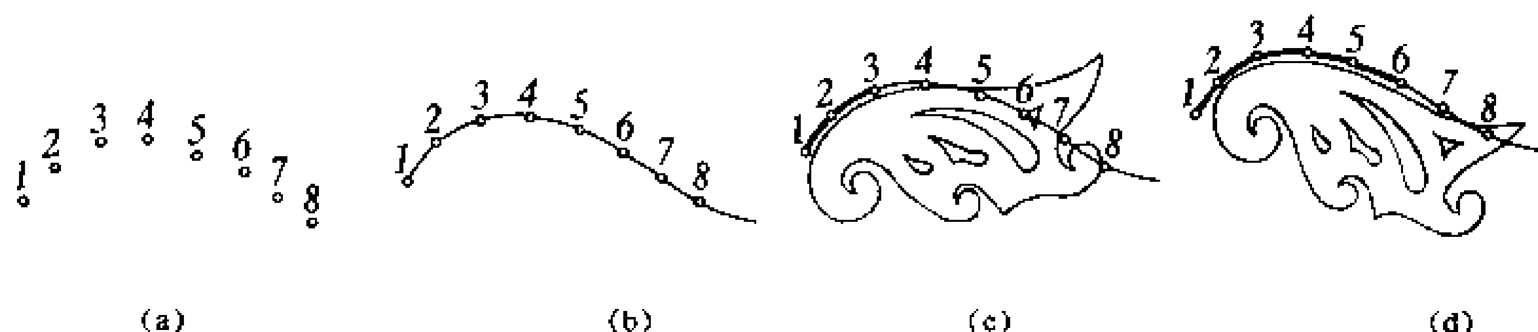


图 1-21　曲线板用法

1.2.11　绘图模板

绘图模板是为了提高绘图效率而专门设计的绘图工具。它是将经常用到的几何图形、曲线、专用符号、字体等，按它们的图形、尺寸，在薄的透明材料上加工成形，使用时安放在图纸的相应部位上，就可绘出所需图形。图 1-22 是学生用绘图模板，可用来书写字体、画箭头、倒角、螺纹和表面粗糙度符号等。

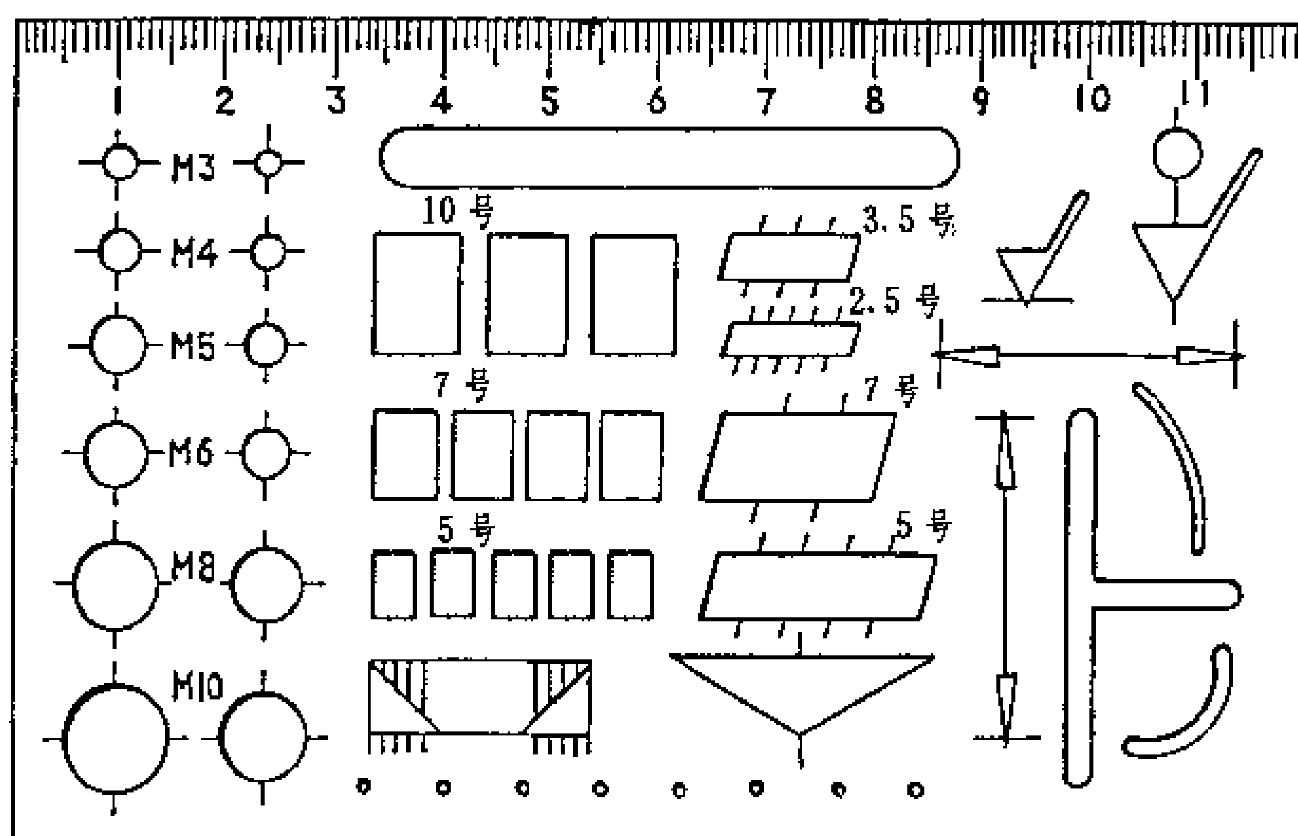


图 1-22　绘图模板

1.2.12　绘图机

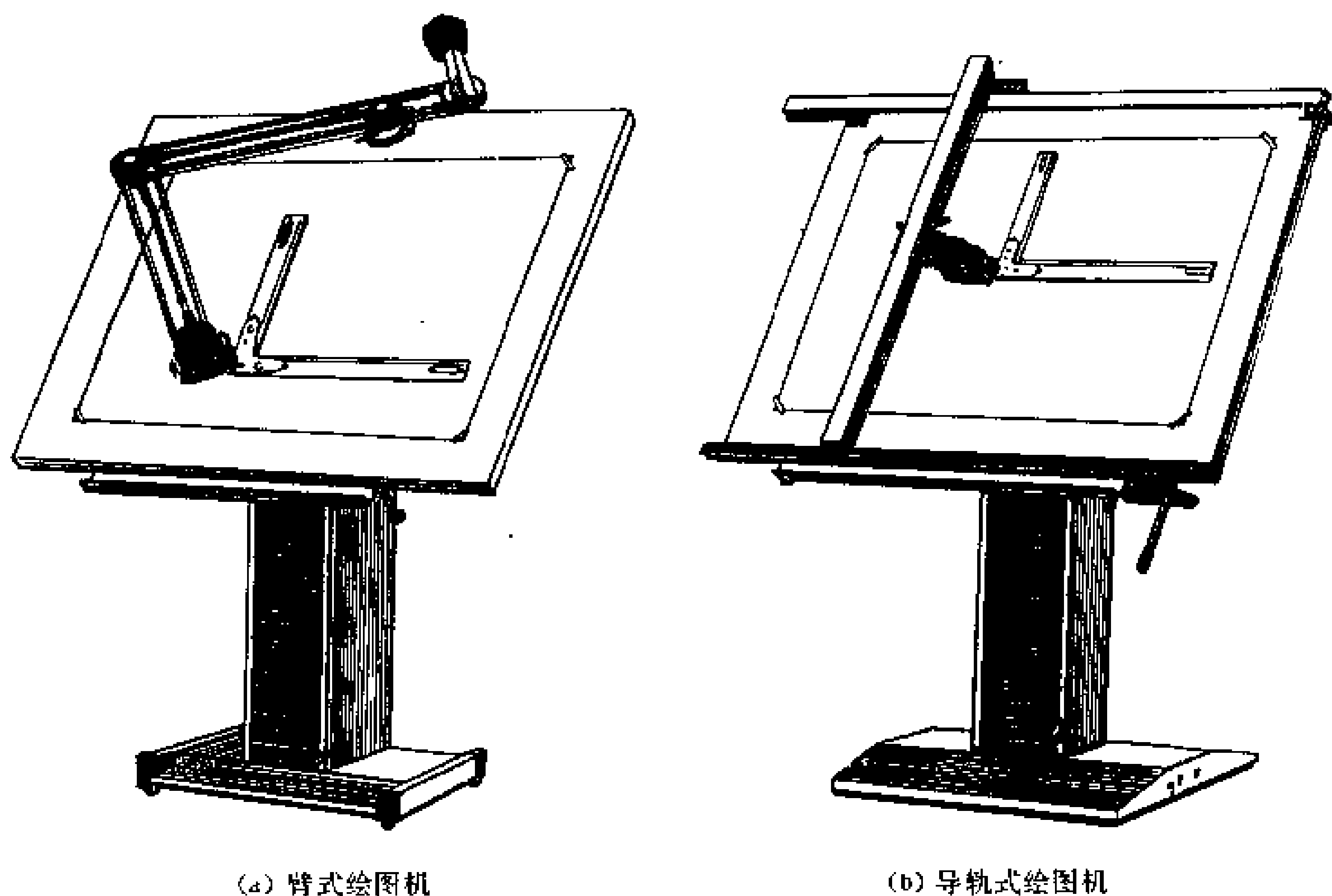
在设计和制图工作中，图样的精度和绘图的速度是两个基本要求。随着生产技术的发展，图板、丁字尺等常用绘图工具将被绘图机所代替。绘图机是由图板、直角尺及量角器等元件组成，所有元件的定位工作全由左手完成，而右手则可用于绘图工作。

绘图机有下列两种：臂式绘图机和导轨式绘图机，如图 1-23 所示。

目前使用的臂式绘图机（图 1-23a），其特点是结构轻巧，使用方便，适用于绘制中小型幅面的图样。

导轨式绘图机（图 1-23b）是最近廿几年才发展起来的。绘图用直角尺可沿着横梁作 Y 轴方向移动，横梁本身可沿着纵向导轨作 X 方向移动。这种绘图机的优点是结构刚度好，因此能保证有较高的绘图精度、使用方便。它适合于绘制大幅面的图样。由于其性能比臂式绘图机好，因此实际上臂式绘图机已逐步被导轨式绘图机所取代。

使用绘图机进行绘图工作比用丁字尺等普通绘图工具能节省 40 ~ 50% 的时间，因此，大力推广绘图机的使用对加快设计制图的工作具有积极意义。



(a) 臂式绘图机　　(b) 导轨式绘图机

图 1-23　绘图机

1.3　几何作图

机器零件的形状是多种多样的，但都可以看作是由各种几何图形组合而形成的。因此，要提高制图的质量和速度，除了要正确使用制图工具和仪器外，还必须熟悉并掌握各种几何图形的作图方法。下面介绍常用的几何作图方法。

1.3.1　圆内接正多边形的画法

1. 分圆周成五等分，作圆内接正五边形

(1) 已知一圆和直径，作半径 AO 的垂直平分线，得中点 B，如图 1-24a 所示。

(2) 以点 B 为圆心，$B1$ 为半径，作圆弧交 AO 线于点 C，$C1$ 即为正五边形边长，如图 1-24b 所示。

(3) 以点 1 为圆心，$C1$ 为半径画圆弧，交圆周于点 2 和点 5，如图 1-24c 所示。

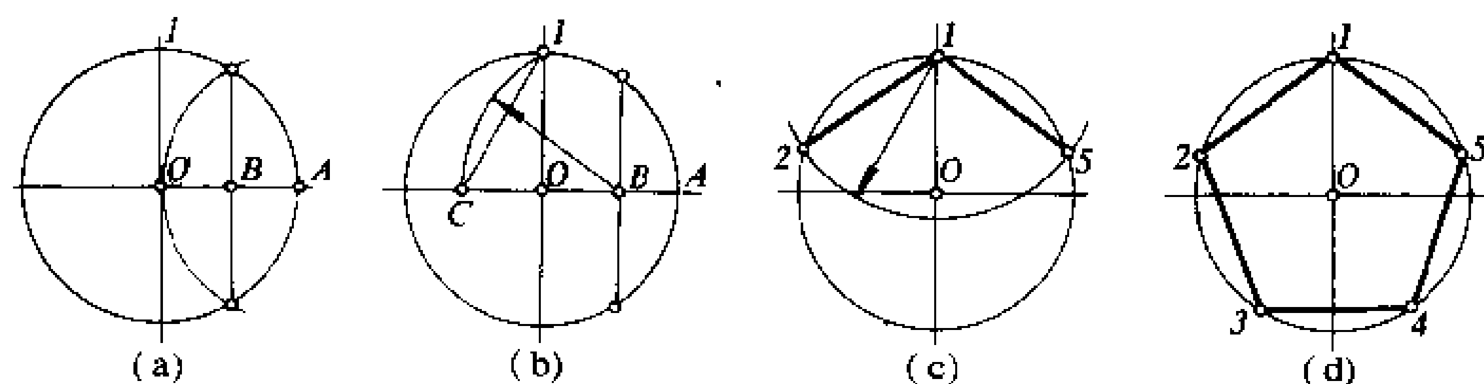


图 1-24　圆内接正五边形画法

(4) 以点 2、点 5 为圆心，$C1$ 为半径画圆弧，交圆于 3、4 两点，连接 1 — 2 — 3 — 4 — 5 点即

得圆内接正五边形，如图 1-24d 所示。

2. 分圆周成六等分，作圆内接正六边形

第一种方法，用圆规等分，如图 1-25 所示。

(1) 已知一圆和圆心，如图 1-25a 所示。

(2) 作直径 ad，如图 1-25b 所示。

(3) 分别以 a,d 为圆心，用这个圆的半径 R 画弧交圆周于 b,f,c,e 四点，如图 1-25c 所示。

(4) 顺次连接各点即得圆内接正六边形，如图 1-25d 所示。

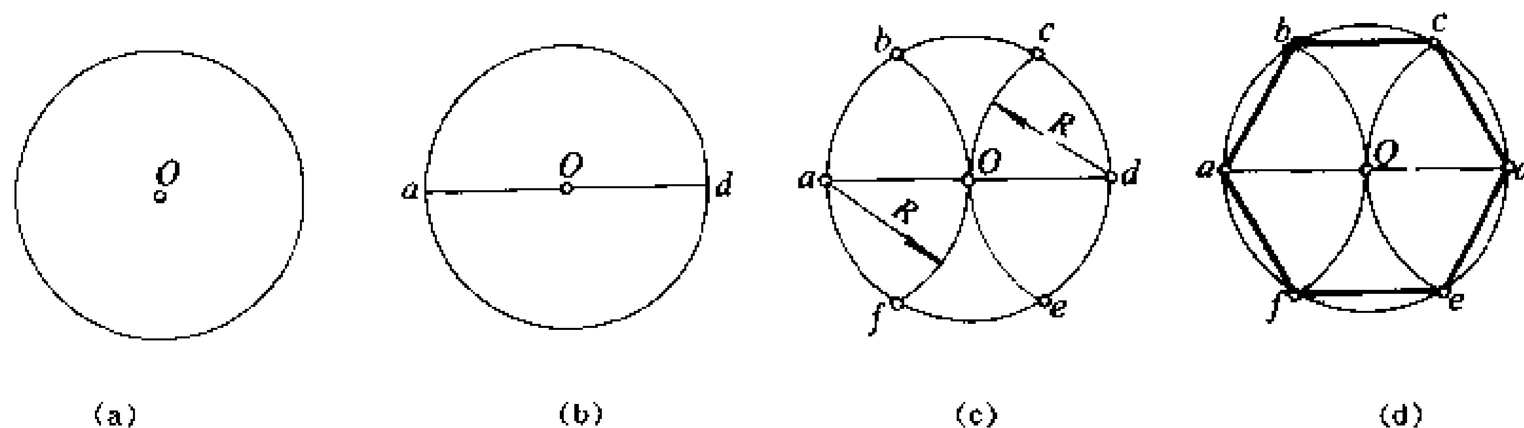


图 1-25　圆内接正六边形画法(一)

第二种方法，用三角板画，如图 1-26 所示。

(1) 已知一圆和直径，如图 1-26a 所示。

(2) 分别过 a,d 点，作 60° 的斜线，如图 1-26b 所示。

(3) 翻转三角板画另一方向的 60° 斜线，如图 1-26c 所示。

(4) 连接 bc,ef 即得一内接正六边形，如图 1-26d 所示。

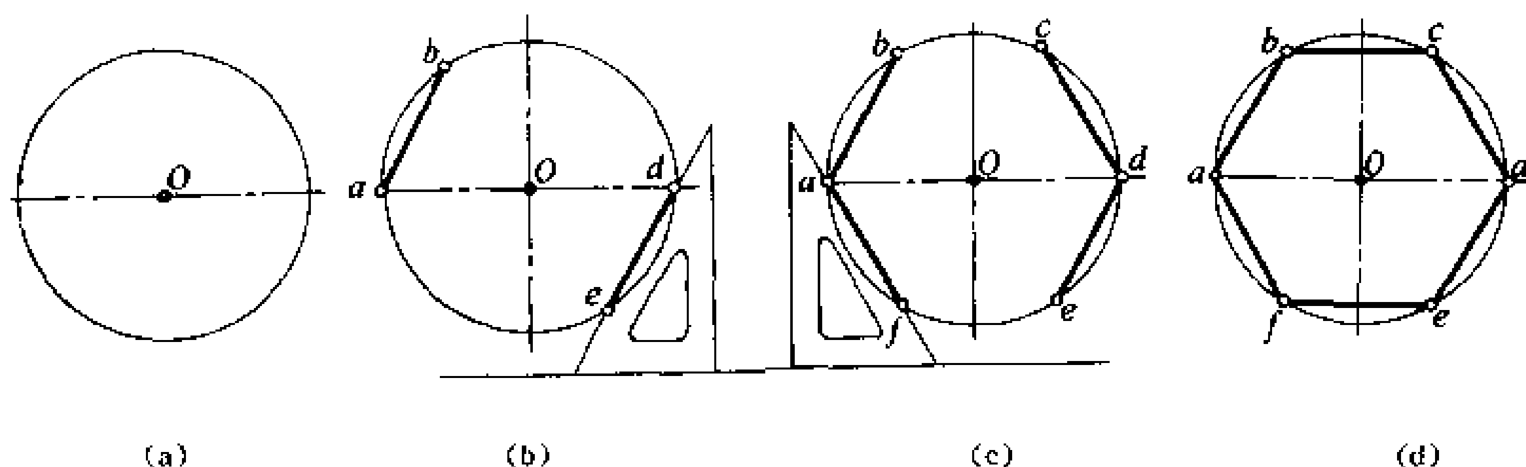


图 1-26　圆内接正六边形画法(二)

1.3.2　曲线的画法

1. 用同心圆法作椭圆

(1) 已知椭圆长轴 ab 和短轴 cd，作一椭圆。作两条互相垂直的直线，分椭圆长轴和短轴成两半，它的交点为 O(椭圆中心)，如图 1-27a 所示。

(2) 以 O 点为圆心，作两个辅助圆，其中一圆的直径等于长轴 ab，另一圆的直径等于短轴 cd，如图 1-27b 所示。

(3) 分大圆成十二等分，得 1,2,3,…,12 各点。把这些点和圆心 O 相连，这样使小圆也分成十二等分，就得 1_1,2_1,3_1,…,12_1 各点，如图 1-27c 所示。

(4) 从大圆上各个分点，向圆内作直线平行于椭圆短轴 cd。从小圆上各个分点，作与椭圆长轴 ab 平行的直线，这些直线与从大圆各分点所作直线相交，这里共得八个交点，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，

…，Ⅷ 各点，这些交点都是椭圆上的点。

用曲线板把这些交点与 a,b,c,d 点光滑连接，就得椭圆，如图 1-27d 所示。

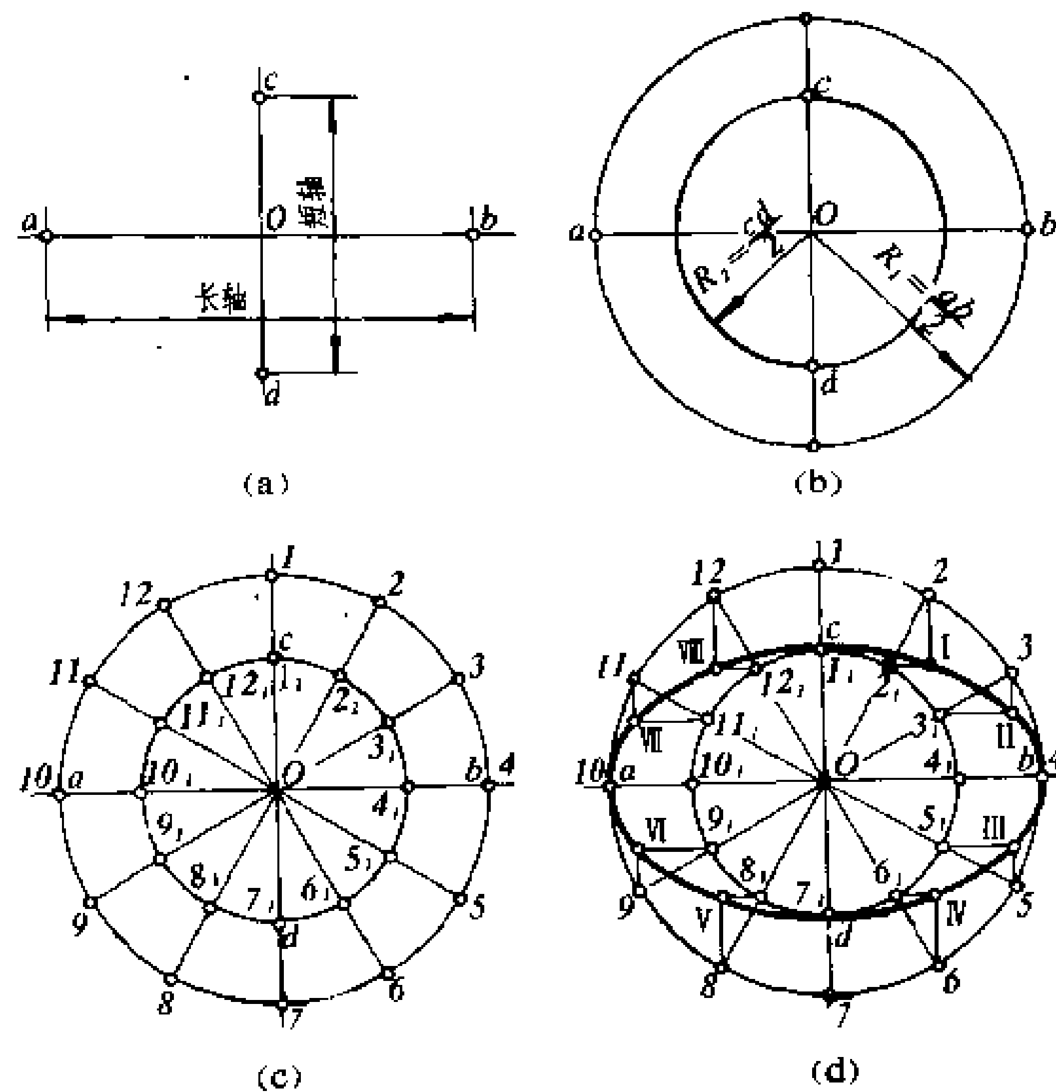


图 1-27　用同心圆法作椭圆

2. 椭圆的近似画法

(1) 已知长轴 ab，短轴 cd 作一近似椭圆。先画两条相互垂直的直线，其交点为 O，并使 $Oa=Ob=ab/2$，$Oc=Od=cd/2$，如图 1-28a 所示。

(2) 连接 ac，以 O 点为圆心、以 Oa 为半径画圆弧与短轴 Oc 的延长线交于 e 点，如图 1-28b 所示。

(3) 以 c 为圆心，以 ce 为半径作圆弧与 ac 相交于点 f。作 af 的垂直平分线，其延长线与长轴交于点 1，与短轴交于点 2，如图 1-28c 所示。

(4) 把点 1 对称地移到 Ob 线上就得点 3。把点 2 对称地移到 Oc 线上就得点 4。连接 12，14，32，34，如图 1-28d 所示。

(5) 以点 2 为圆心，$2c$ 为半径，在 21，23 的延长线之间作圆弧。以点 4 为圆心，$4d$ 为半径在 41，43 的延长线之间作圆弧，如图 1-28e 所示。

(6) 以点 1 和点 3 为圆心，以 $1a$、$3b$ 为半径作圆弧，即得一近似椭圆，如图 1-28f 所示。

2. 阿基米德螺线画法

(1) 已知螺距 R，试作阿基米德螺线。

以阿基米德螺线的起点 O 为圆心，R 为半径作圆。将此圆分成八等分，则得 1，2，3，…，8 各点。将圆周的一个半径，如 $O8$ 也分成八等分，则得 1_1，2_1，3_1，…，8_1 各点，如图 1-29a 所示。

(2) 以 O 点为圆心作圆弧，将 1_1 点移到半径 $O1$ 上，2_1 点移到半径 $O2$ 上，3_1 点移到半径 $O3$ 上，得 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 各点，这些点是阿基米德螺线上的点，如图 1-29b 所示。

(3) 以同样方法移置其他点于相同数字的半径上，得 Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ 各点，8_1 点保持于原位

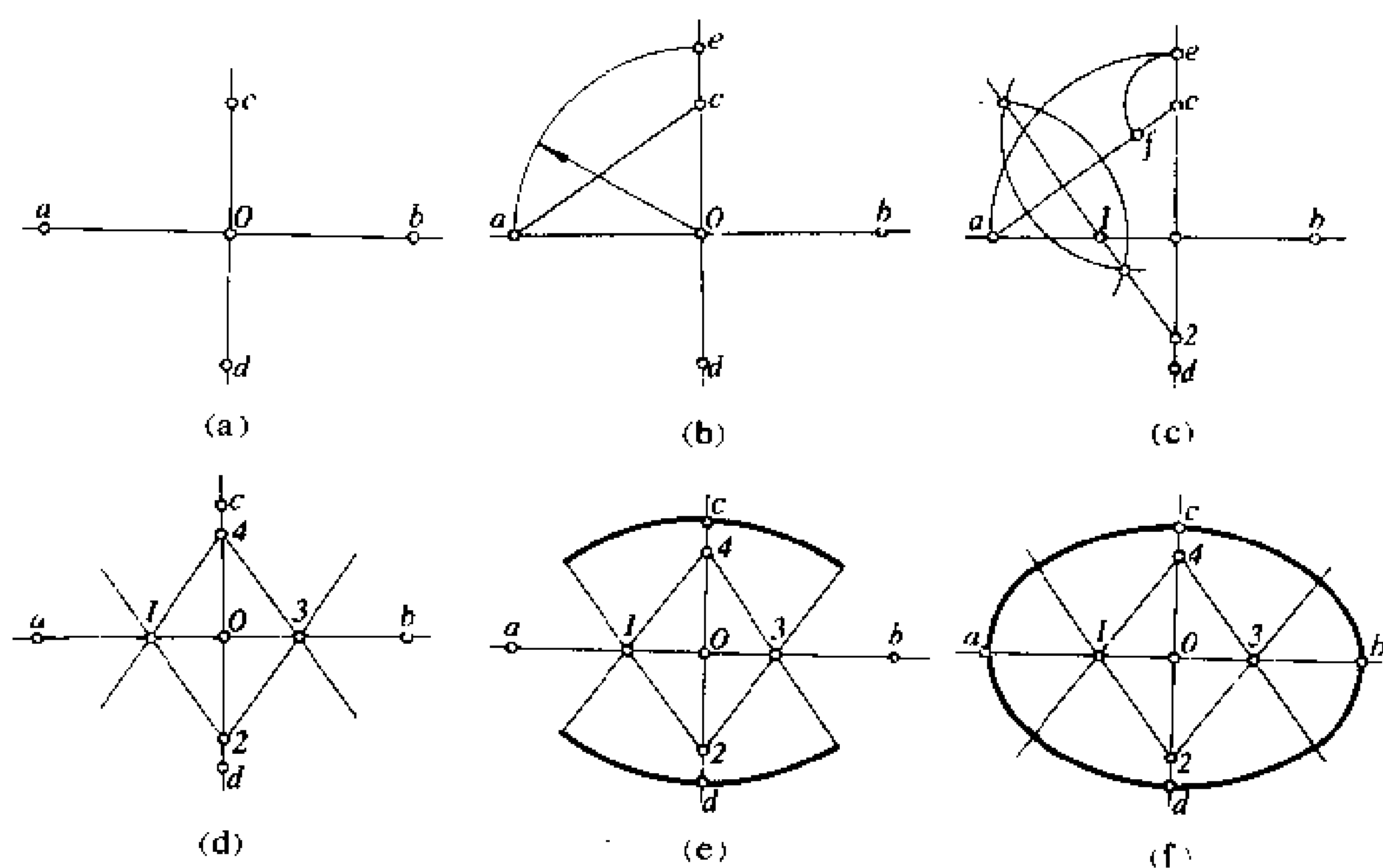


图 1-28　椭圆的近似画法

置上，即在半径 $O8$ 上，它以 Ⅷ 表示，如图 1-29c 所示。

(4) 用曲线板连接所求得的各点，即得出一条阿基米德螺线，其螺距等于 R。

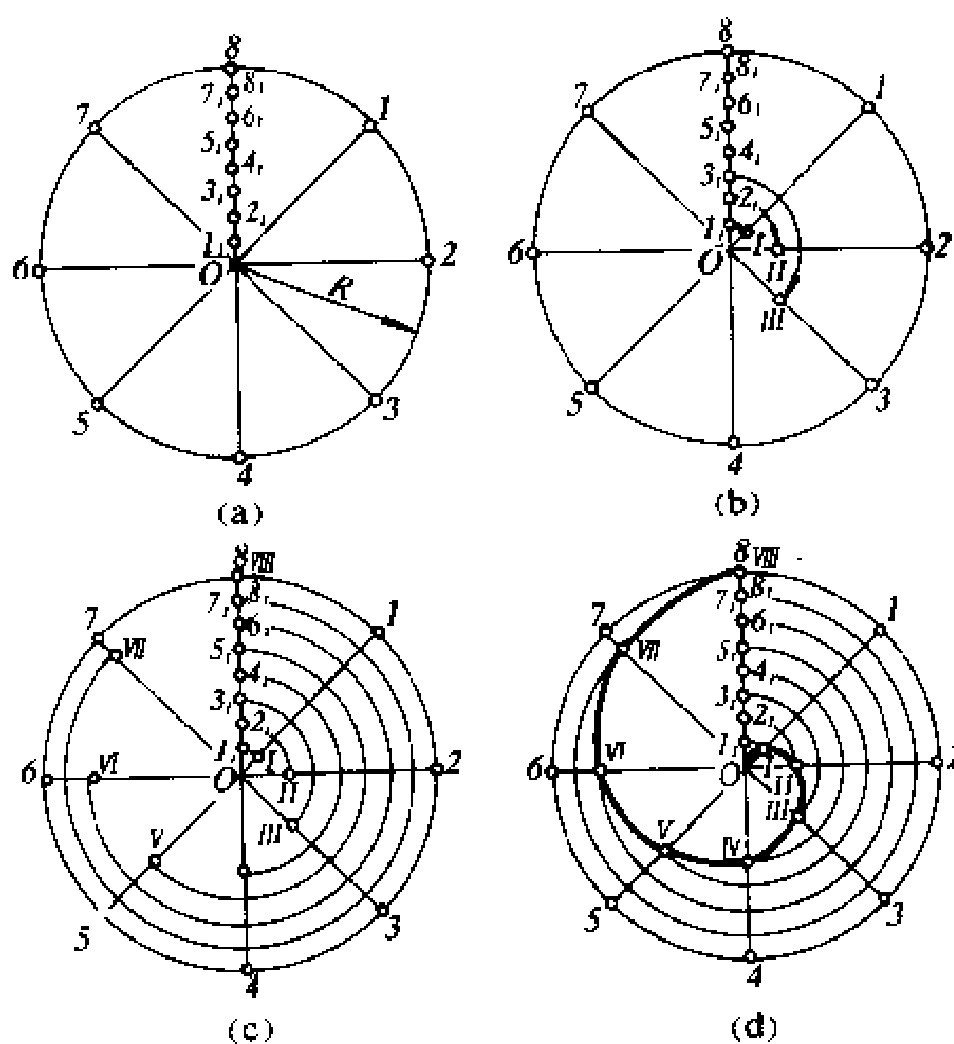


图 1-29　阿基米德螺线画法

1.3.3　圆弧连接

工程图样中常常遇到用圆弧来光滑连接其他线段的情况，因此在制图时就要碰到圆弧连接问题。

圆弧连接是指用已知半径的圆弧去连接已知线段(直线或圆弧)。这个起连接作用的圆弧称为连接弧。作图时必须找出连接弧的圆心和切点,才能保证圆弧的光滑连接。

圆弧连接有三种情况:

第一种情况:用已知半径为 R 的圆弧连接两条已知直线,两直线可相交成直角、锐角或钝角,如图 1-30 所示。

第二种情况:用已知半径为 R 的圆弧连接两已知圆弧。

如图 1-31 为外连接 —— 两个已知圆弧的圆心都在连接圆弧的外边。

如图 1-32 为内连接 —— 两个已知圆弧的圆心都在连接圆弧的里面。

第三种情况:用已知半径为 R 的圆弧连接一已知直线和一已知圆弧,如图 1-33 所示。

1. 圆弧连接两直线画法

(1) 已知直线 Ⅰ,Ⅱ,连接圆弧半径 R,求作两直线的连接弧(图 1-30a)。

要画一个圆弧,必须知道半径和圆心的尺寸、位置,如果只知道圆弧半径的叫做连接弧,圆心要用作图法求得。

(2) 求连接弧 R 的圆心。任意取两直线上的点 a,b 为圆心,R 为半径作圆弧,再作这两圆弧的切线 Ⅲ,Ⅳ 分别与直线 Ⅰ,Ⅱ 平行,Ⅲ,Ⅳ 的交点即为所求连接弧的圆心,如图 1-30b 所示。

(3) 求连接弧的切点。从圆心 O,分别向直线 Ⅰ,Ⅱ 作垂直线得垂足 c,d,点 c,d 即为切点,如图 1-30c 所示。

(4) 以 O 为圆心,R 为半径作圆弧,$\overset{\frown}{cd}$ 即为所求连接弧,如图 1-30d 所示。

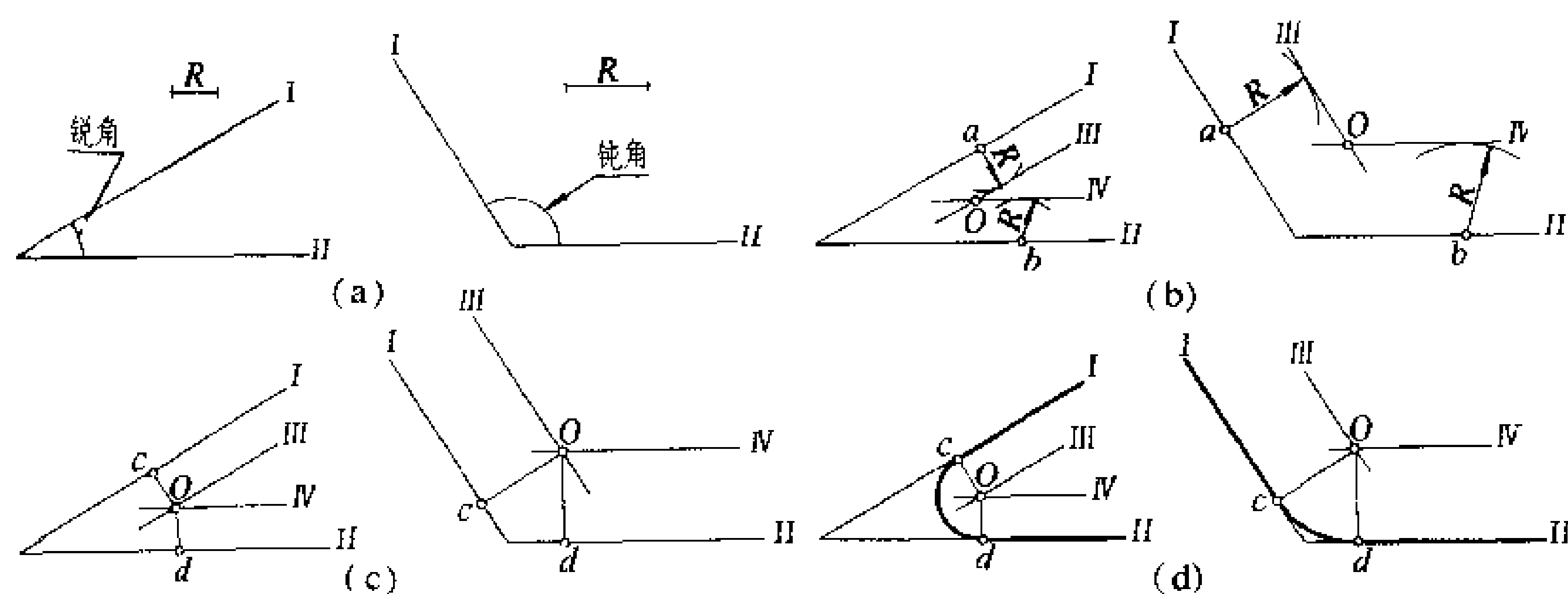


图 1-30 圆弧连接两直线画法

2. 圆弧连接两圆弧的画法(一)—— 外连接

(1) 已知两圆圆心 O_1,O_2 及半径 R_1,R_2。求作用圆弧 R 外连接 R_1 和 R_2(图 1-31a)。

(2) 求连接弧 R 的圆心:以 O_1 为圆心,$R+R_1$ 为半径画弧,以 O_2 为圆心,$R+R_2$ 为半径画弧,两圆弧的交点 O 即为连接弧的圆心,如图 1-31b 所示。

(3) 求连接弧 R 的切点:连接 O,O_1 得点 1,连接 O,O_2 得点 2。点 1,2 即为切点,如图 1-31c 所示。

(4) 以 O 为圆心,R 为半径画圆弧 $\overset{\frown}{12}$。$\overset{\frown}{12}$ 即为连接弧,如图 1-31d 所示。

3. 圆弧连接两圆弧的画法(二)—— 内连接

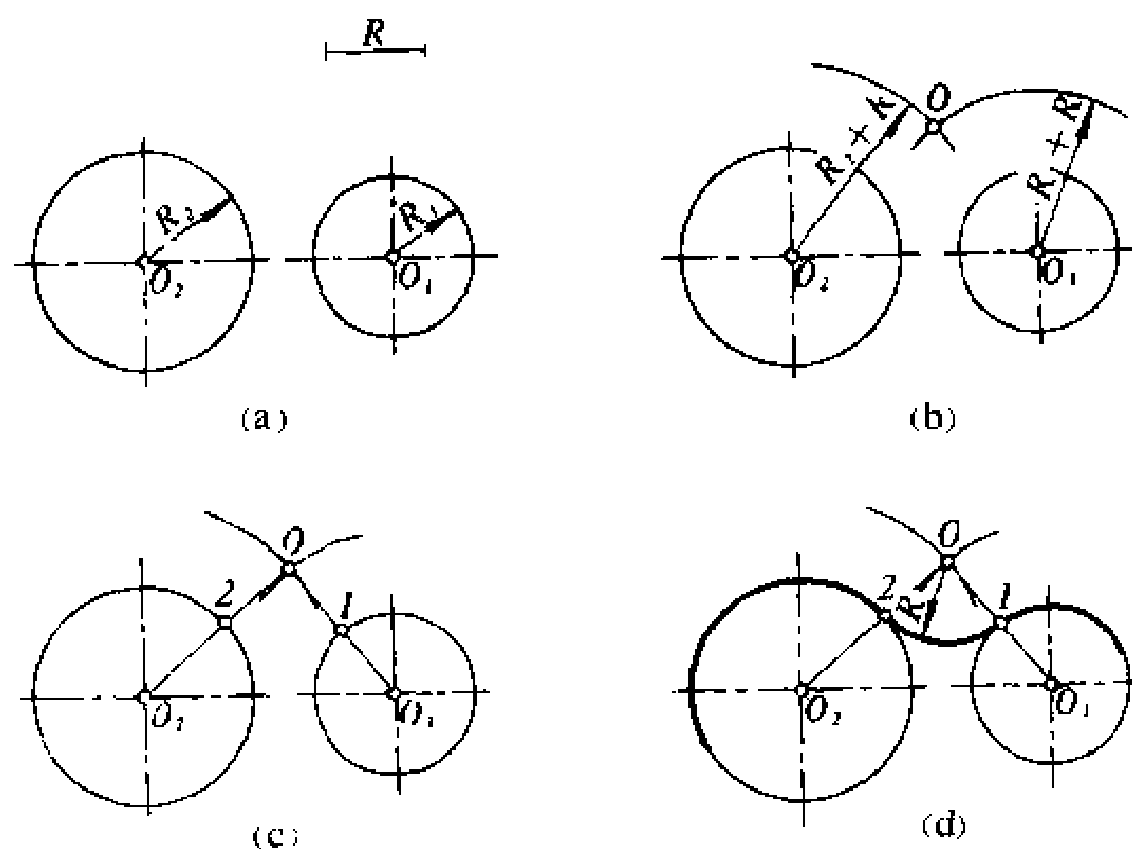


图 1-31 圆弧连接两圆弧的画法(一) 外连接

(1) 已知两圆圆心 O_1,O_2 及半径 R_1,R_2。求作用圆弧 R 内连接 R_1 和 R_2(图 1-32a)。

(2) 求连接弧 R 的圆心:以 O_1 为圆心,$R-R_1$ 为半径画弧,以 O_2 为圆心,$R-R_2$ 为半径画弧,两圆弧的交点 O 即为连接弧的圆心,如图 1-32b 所示。

(3) 求连接弧 R 的切点:连接 O,O_1 得点 1,连接 O,O_2 得点 2,点 1,2 即为切点,如图 1-32c 所示。

(4) 以 O 为圆心,R 为半径画圆弧 $\overset{\frown}{12}$。$\overset{\frown}{12}$ 即为连接弧,如图 1-32d 所示。

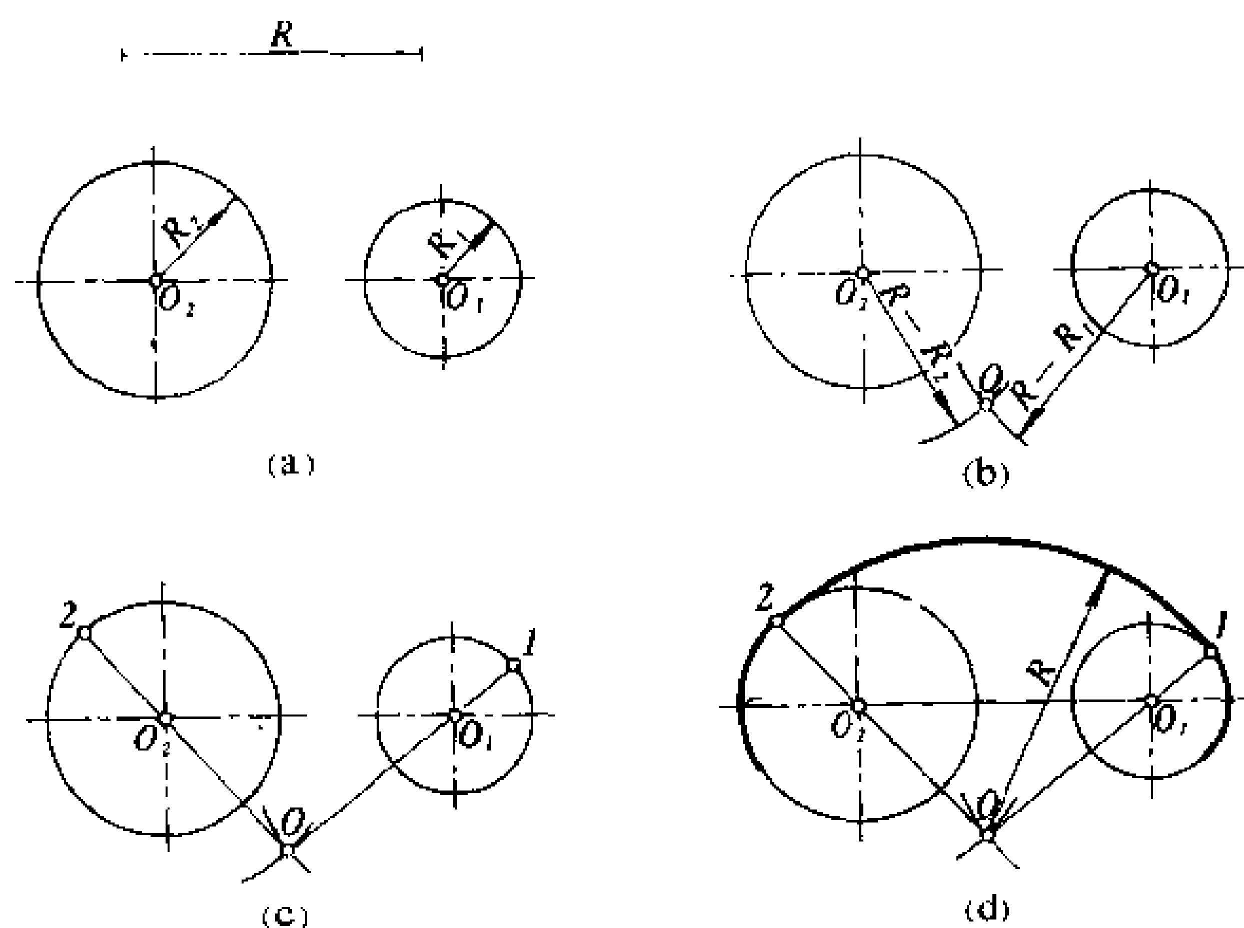


图 1-32 圆弧连接两圆弧的画法(二) 内连接

4. 圆弧连接圆弧与直线的画法

(1) 已知直线 1 和已知圆弧的圆心 O_1,半径 R_1。求作用圆弧 R 连接已知圆弧和直线(图

1-33a)。

（2）求连接弧 R 的圆心：作直线 Ⅱ 平行直线 Ⅰ，其距离为 R。以 O_1 为圆心、$R+R_1$ 为半径画弧。直线 Ⅱ 和圆弧的交点 O 即为连接弧 R 的圆心，如图 1-33b 所示。

（3）求连接圆弧 R 的切点：从点 O 向直线 Ⅰ 作垂直线得垂足 1，连接 OO_1 与已知弧相交得交点 2。点 1 和点 2 即为切点，如图 1-33c 所示。

（4）以 O 为圆心，以 R 为半径作圆弧 $\overset{\frown}{12}$。$\overset{\frown}{12}$ 即为所求的连接弧，如图 1-33d 所示。

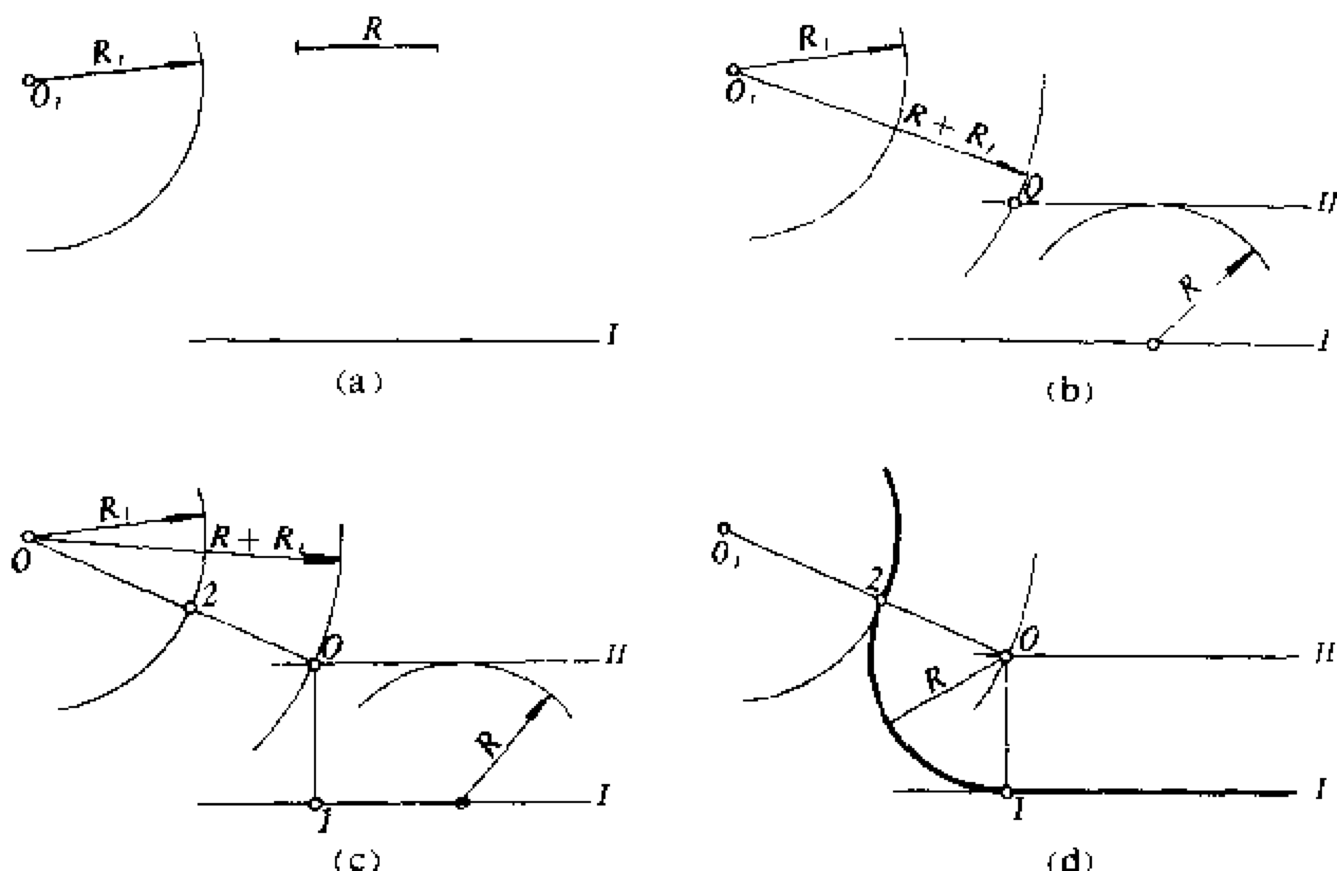


图 1-33　圆弧连接圆弧与直线画法

1.4　绘图技能

绘图技能包括用仪器绘图和徒手绘图两种方法。

1.4.1　仪器绘图

1. 充分做好各项准备工作

（1）准备好必需的制图工具和仪器；

（2）决定图形采用的比例和图纸幅面的大小；

（3）画出图框和标题栏的边框；

（4）分析所画图形上尺寸的作用和线段的性质，来确定画线的先后次序；

（5）决定图形在图纸上布置的位置。

2. 按照正确的步骤进行画图

现以扳手画法为例，加以说明，见图 1-34。

（1）进行图形分析

如图 1-34a 所示，扳手钳口是正六边形的四条边。扳手弯头形状是由 $R18$、$R9$ 组成，它们是相切的，圆心位置都已知道。$R16$、$R8$、$R4$ 是连接弧。

（2）用细实线画图形的底稿

画底稿一般用较硬铅笔（如 H 或 $2H$）来画。底稿要轻画，但各种图线要分明，视图位置安排合理，尺寸大小要准确。图 1-34b 表示根据已知尺寸画出轴线、中心线和柄部的图形。图

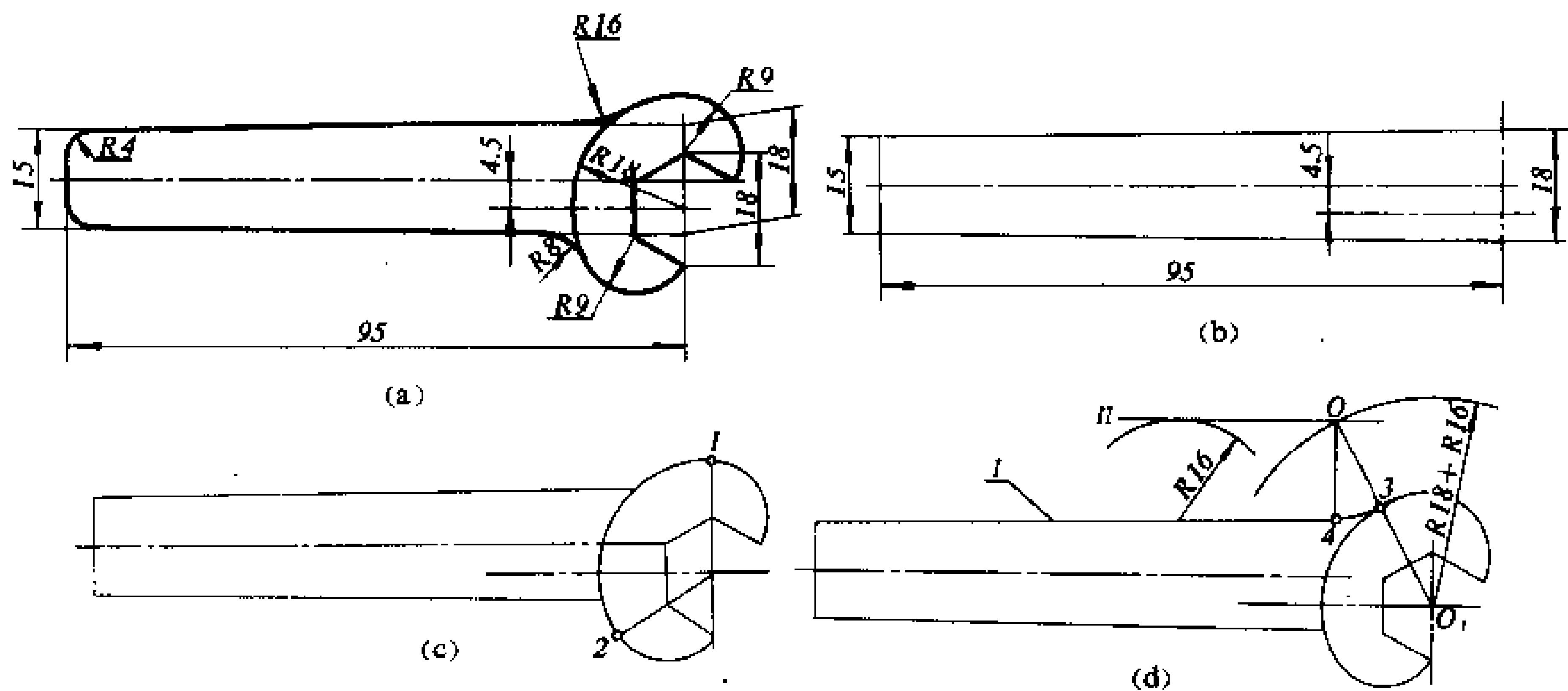


图 1-34　扳手画法

1-34c 表示根据尺寸 18 作出六边形。根据 $R9$,$R18$ 画出弯头,它们相切在点 1,2。求 $R16$ 连接弧的圆心:以 O_1 为圆心、$R=18+16=34$ 为半径画弧,作直线 Ⅰ 平行直线距离为 16,直线 Ⅱ 与圆弧的交点 O 即为圆心。点 3,4 为切点。$R8$,$R4$ 的圆心求法与前类同(图 1-34d)。

(3) 加深粗实线

底稿完成之后,要仔细校对,擦去多余的作图线,再按各种图线要求进行加深,一般用 HB 或 B 铅笔加深粗实线。圆规用的铅芯应比画线用的铅笔软一号为宜。加深粗实线时,先加深圆和圆弧,再从图的左上方开始,顺次向下加深所有水平方向的粗实线,从图的左上方开始,顺次向右加深所有的垂直方向的粗实线,最后加深其余粗实线。

(4) 加深细线

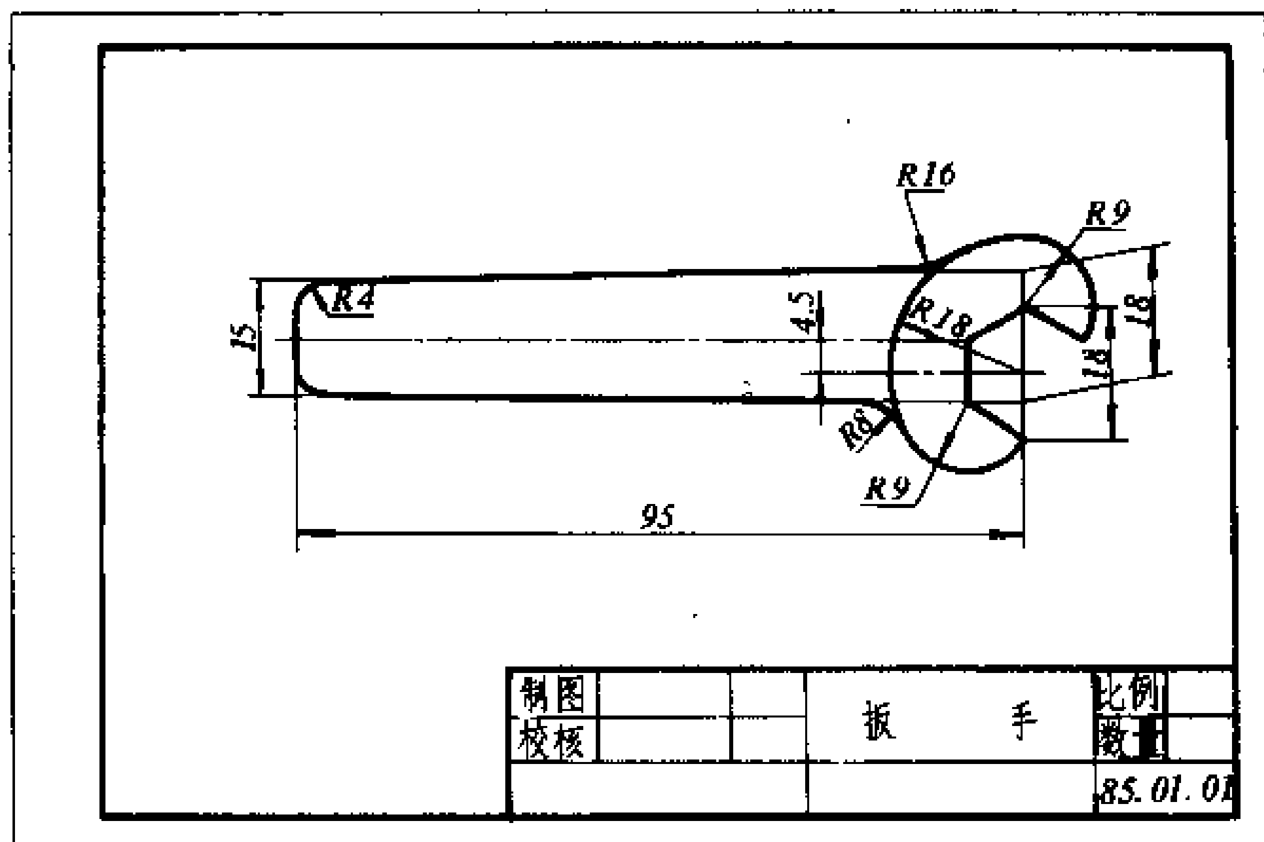


图 1-35　扳手的平面图形

按上述顺序，用 H 铅笔加深所有细线——细实线、点划线和虚线等，这些线型一般以清晰可见为宜。剖面线如画得太浓太密反面影响图样的清晰。如果底稿已很明显，一般也可不再加深。剖面线等也可在加深时一次画成。

(5) 画箭头、注尺寸、画代(符)号等。

(6) 填写标题栏和其他必要的说明，完成图样，如图 1-35。

画图时，有关图纸幅面、比例、图线型式、尺寸注法、图样画法等在制图国家标准中均有明确规定，可以参阅有关标准或手册。在每张图纸右下角，都要画上标题栏。如果是装配图，在标题栏上方还要画上明细栏。标题栏和明细栏的格式，国家标准也有规定(见附录 1)。生产实际技术图样，应按标准格式绘制。本课程的一般作业、零件图、装配图建议采用图 1-36a 和 b 的格式。

(a) 零件图标题栏

(b) 装配图标题栏和明细栏

图 1-36　标题栏和明细栏

3. 描图

下面介绍描图上墨技能。描图一般是指在专用描图纸上上墨。

上墨的底图要求图线清晰、作图准确。图板或绘图台板基本保持水平位置。描图纸覆盖在底图上，要相对固定，不要移动。上墨的顺序是：

(1) 调整好直线墨笔的线型粗细，应在纸质相同的描图纸上试划，调整好后，不宜多变动。同一粗度的线，可一起上墨。

如用针管绘图笔，只要选用所需图线宽度的笔尖，进行描绘，十分方便。

(2) 上墨时先描圆弧、后描直线。水平线段从上到下，垂直线段从左到右，倾斜线段从左上方到右下方。这样的顺序可以避免因墨汁未干而在绘图工具移动过程中染污图面。

(3) 描同心圆一般先描小圆，再描中圆、大圆。如果直线墨笔笔尖存储墨水较多，也可先描大圆。但必须防止圆心位置偏移和扩大。

(4) 轴心线、中心线应最后描绘。这样，在必要时可进行适当的调整，以修正描图中产生的误差。

(5) 如有几张图纸同时进行描图，可轮流作业，这样能节省等待墨汁干燥所需时间，提高描图效率。这时，描图纸和底图就不固定在图板上，而用大头针或回形针相互固牢即可。

(6) 如因不慎，图线上有局部墨汁污染时，不能用湿布等揩擦，而应待墨水干燥之后，在描图纸下垫硬质薄片(玻璃片、三角板都可)，用薄刀片轻轻刮净，然后再用橡皮擦一擦。刮过的线条如需修补，最好用较细线型逐一修补，以防墨汗向周围渗开。

(7) 描图结束时，应将描图工具、仪器洗净擦干。

1.4.2 徒手绘图

徒手绘图是以目测比例，不用绘图仪器和工具徒手进行绘图，所画的图样称为草图。画设计草图以及在现场测绘时，都采用徒手画图的方法。画草图时，仍应基本上做到：图形正确，线型分明，比例匀称，字体工整，图面整洁。

初学画草图时，最好在方格纸上进行，这样可使直线画直并便于控制方向和比例。待绘图技巧进一步提高后，就可在空白纸上画图。

画草图一般选用 *HB* 或 *B* 的铅笔，徒手绘图的主要技能是：

1. 画直线

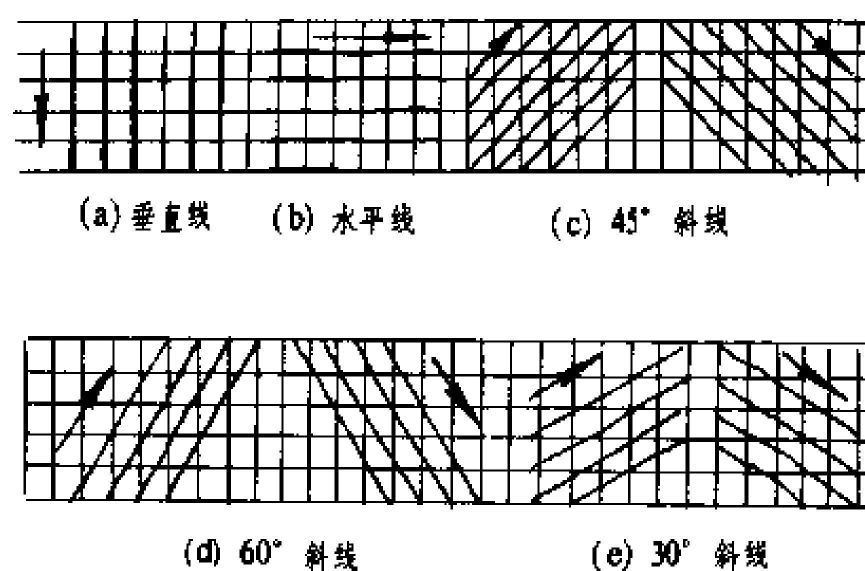
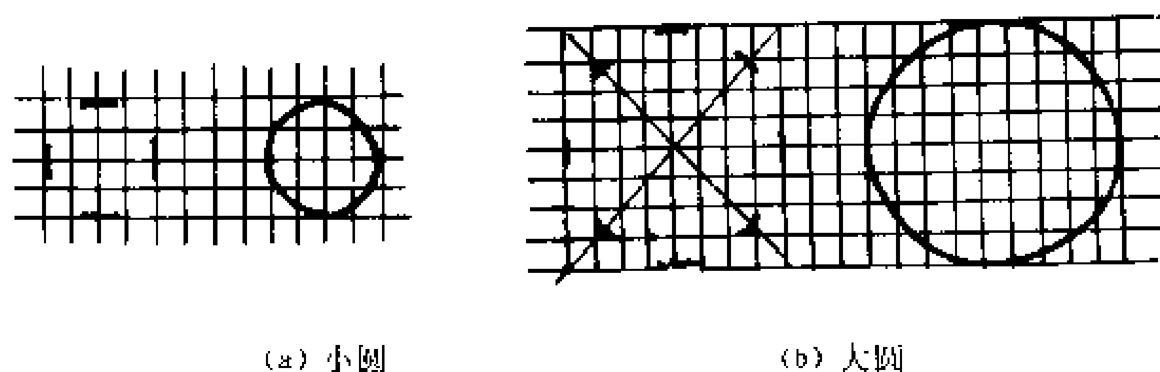


图 1-37　草图直线画法

画垂直线，使铅笔沿着方格纸的垂直线从上向下移动，画水平线时应从左向右移动，如图 1-37a、b 所示。画斜线时应从左下角向右上角或从左上角向右下角移动铅笔画出，如图 1-37c，d，e。剖面线可利用方格的对角线方向画出，如图 c。画与水平线成 30°，60° 的斜线时，可按两直角边的近似比例关系，定出两端后再连成直线，如图1-37d，e 所示。

2. 画圆



(a) 小圆　　(b) 大圆

图 1-38　草图圆的画法

画不太大的圆，应先画出两条互相垂直的中心线，再在中心线上按半径定四端点，然后连

成圆，如图 1-38a。如画的圆较大，可以再增画两条对角线，在对角上找四段半径的端点，然后通过这些点进行描绘，最后完成所画的圆，如图 1-38b。

图 1-39 是草图画法的示例。

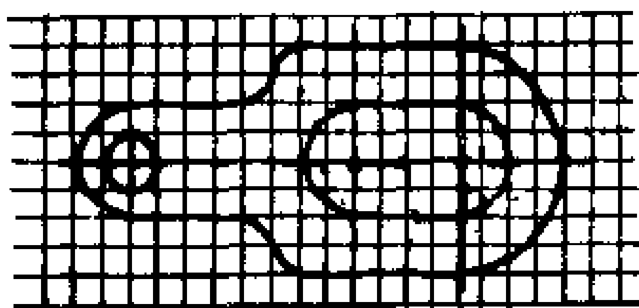


图 1-39　草图示例

思 考 问 题

1.1　图纸幅面有哪些规格，A3 号纸的幅面多大？

1.2　图样的比例是____与____之比。

1.3　图线有哪几种？粗、细分____类，常用到哪些图线？

1.4　说明 10 号长仿宋体的高和宽。

1.5　一个尺寸一般由______，______，______组成。

1.6　标注尺寸时常用到哪几个符号？书写时应注意哪些问题？

1.7　说明正五边形的画法。

1.8　说出椭圆的近似画法。

1.9　圆弧连接的关键在于求出____和____。

1.10　试述常用绘图工具与仪器的正确使用方法。

1.11　试述用仪器绘图的正确步骤。

1.12　怎样徒手画草图？

第2章　投影基础

内容提要　本章介绍平面上表示空间物体的投影法，正投影法的投影特性，多面投影的投影规律；点在三投影面体系中的投影特性及其作图方法，各种位置的直线投影特性，两直线相对位置的投影特性；各种位置平面的投影特性，平面上的点和直线的作图方法；直线与平面、平面与平面的平行、相交、垂直在投影图上作法（其中直线或平面的一个投影有积聚性），在相交问题中利用重影来判别可见性，投影变换——换面法，点的换面法，直线和平面的换面法及其基本作图方法。

2.1　投影法及投影图

2.1.1　投影法

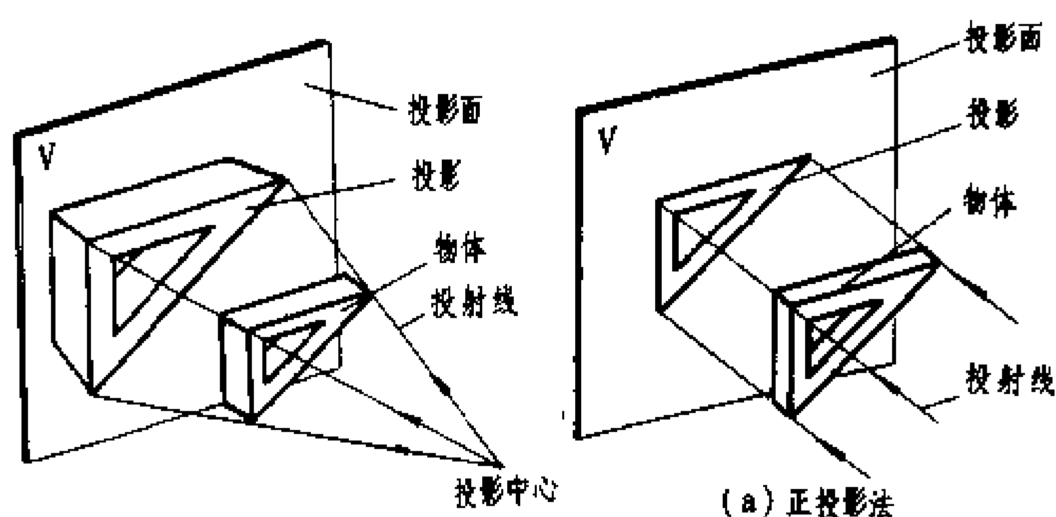
当太阳光线照射物体时，会在墙壁上或地面上出现物体的影子。人们从这一现象中得到启示，并经过科学的抽象，总结出用投射在平面上表示空间物体形状的投影法。

投影法是投射线通过物体，向选定的平面投射，并在该平面上得到图形的方法。所得图形称为物体的投影，投影所在的平面，称为投影面。

工程上常用的投影法有两种，即中心投影法和平行投影法。

(1) 中心投影法，如图 2-1。中心投影法：投影中心 |投影和物体的空间位置有关

中心投影法是由投影中心、物体和投影面组成，投射线汇交一点的投影法。用中心投影法得到物体的投影与物体对投影面所处位置有关，投影不能反映物体表面真实形状和大小，但图形富有立体感，常用于建筑工程上的透视图（透视投影）。



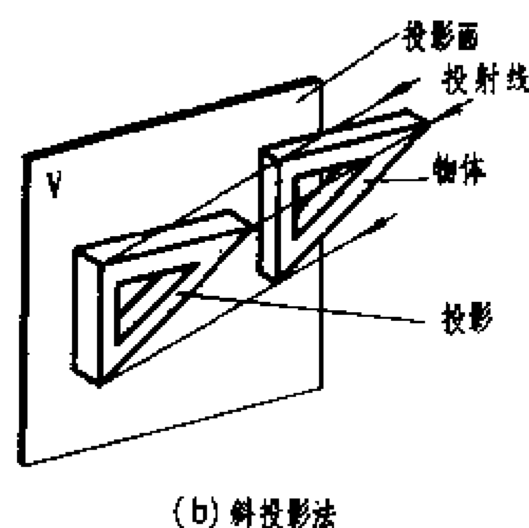


图 2-1　中心投影法　　图 2-2　平行投影法

(2) 平行投影法，如图 2-2。

平行投影法的投射线相互平行，它是通过这些投射线把物体投射到投影面上面得到投影的方法。平行投影法按投射线与投影面是否垂直分为正投影法（如图 2-2a）和斜投影法（如图 2-2b）。正投影法的投射线垂直于投影面，其投影能够反映物体表面真实形状和大小，而且与物体离投影面的远近无关，故工程图样主要是用正投影法画成。本书除第 5 章中轴测投影用到斜投影法外，其他均用正投影法。

物体在观察者和投影面之间
假想视线互相平行并且垂直于投影面

2.1.2　正投影图

使用正投影法把物体放在观察者和投影面之间，观察者的视线代替投射线，并假想视线互相平行，且垂直于投影面，这样得到的图形，称为**正投影图**(投影图)，如图 2-3 所示。

由图 2-3 可知，正投影图既不是观察者看到物体的直观图像，也不是物体单纯的一个影子，而是按照正投影法，把物体内、外表面全部表达出来的图形。

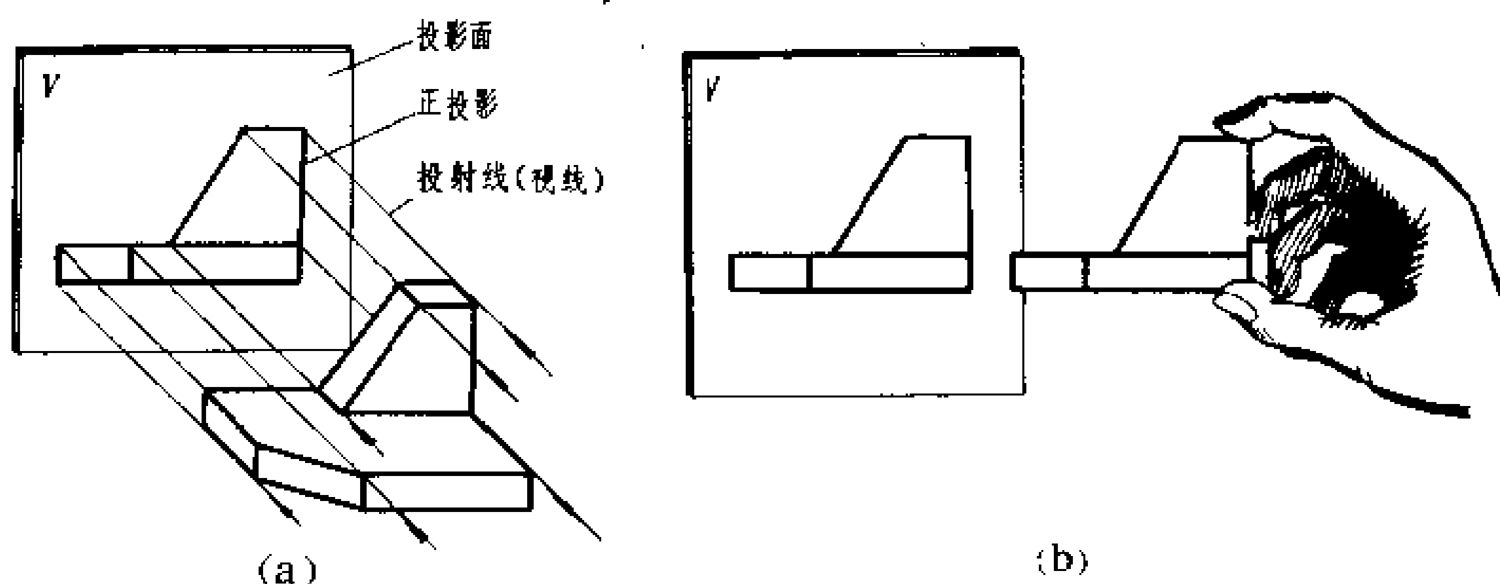


图 2-3　正投影法

2.1.3　投影体系

用一个投影面只能画出物体的一个投影图。它只能反映平行于投影面的两个坐标方向的物体大小和形状，因此，用一个投影图一般是不能表达物体的整体大小和形状。如图 2-4 所绘出的 A、B 两个物体，它们的对应部分长和高分别相等，图上所示位置的投影图完全相同，但实际上两物体左前角形状并不一样。为了表示物体的整体大小和形状，必须从几个方向来观察，即从几个方向画出物体的投影图。在工程图样中通常采用与物体的长、宽、高相对应的三个互

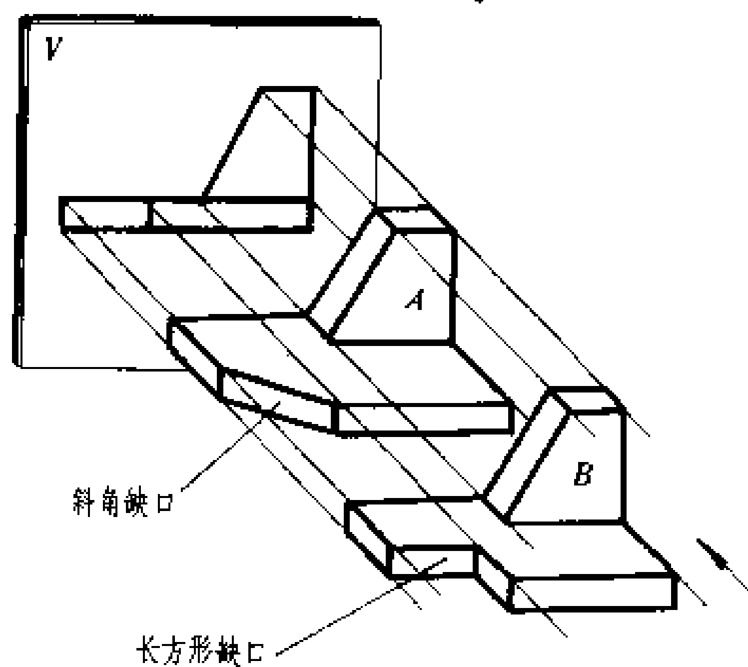


图 2-4　两物体在同一投影面上的投影

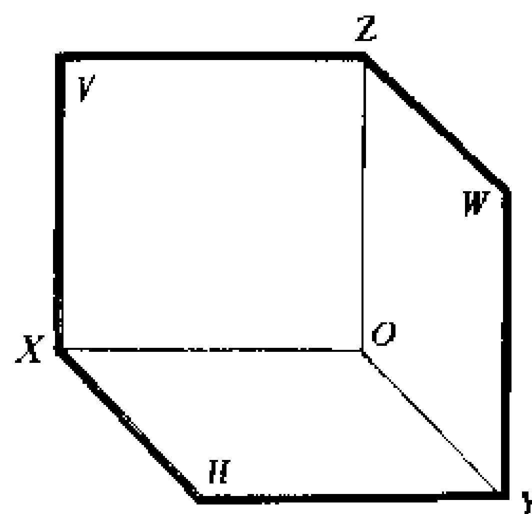


图 2-5　三面投影体系

相垂直的投影面，如图 2-5 中的正立投影面 V(简称正面或 V 面)、水平投影面 H(简称水平面或 H 面)、侧立投影面 W(简称侧面或 W 面)，这样构成投影的三面投影体系。这三个投影面之间的交线 OX、OY、OZ 称为投影轴，它们表示物体长、宽、高三个测量方向。

各个投影面上的投影名称规定如下：

物体在正面上的投影称为正面投影；

物体在水平面上的投影称为水平投影；

物体在侧面上的投影称为侧面投影。

以上为三个投影面形成的空间状态。工程图样中，为了便于画图和看图，需要把空间三个投影面展开在一个平面上。按制图国家标准的规定，展开时正面 V 不动，将水平面 H 绕 OX 轴向下旋转，侧面 W 绕 OZ 轴向右旋转，均重合于正面，图 2-6 为展开在一个平面上的全过程。在投影面旋转后，OY 轴一分为二，通常规定在 H 面上的为 OY_H，在 W 面上的为 OY_W，这样，水平投影在正面投影的下方，侧面投影在正面投影的右方，如图 2-7(a) 所示。

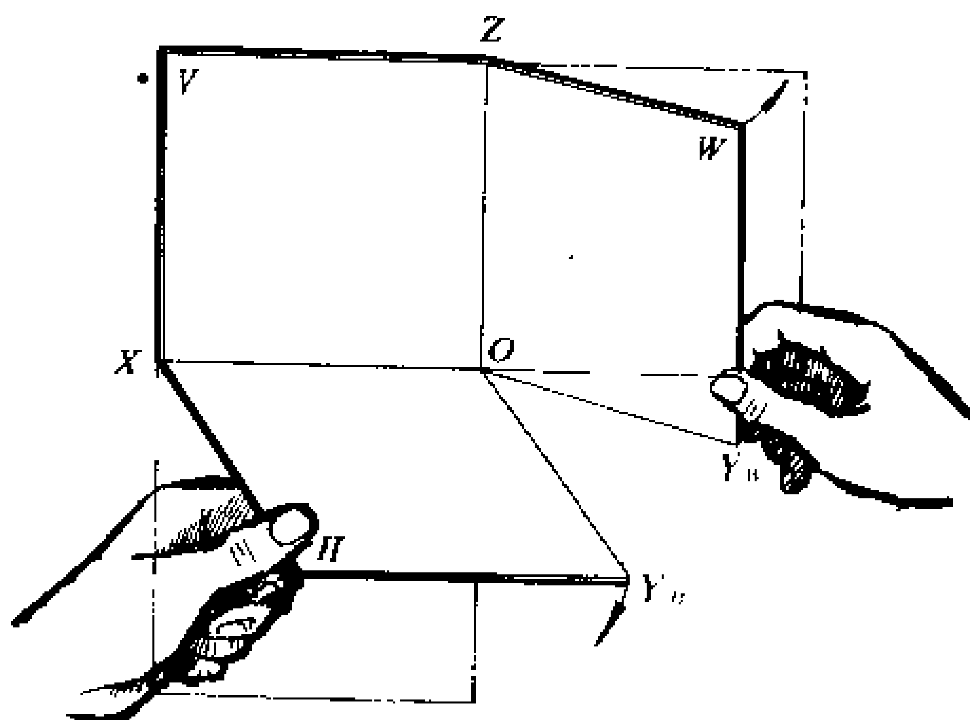


图 2-6 三面投影面展开方法

由于投影面的大小与投影图无关，但又要考虑到画物体的三个投影之间相对位置和基准，通常只画出三个投影轴的展开图，如图 2-7(b)。

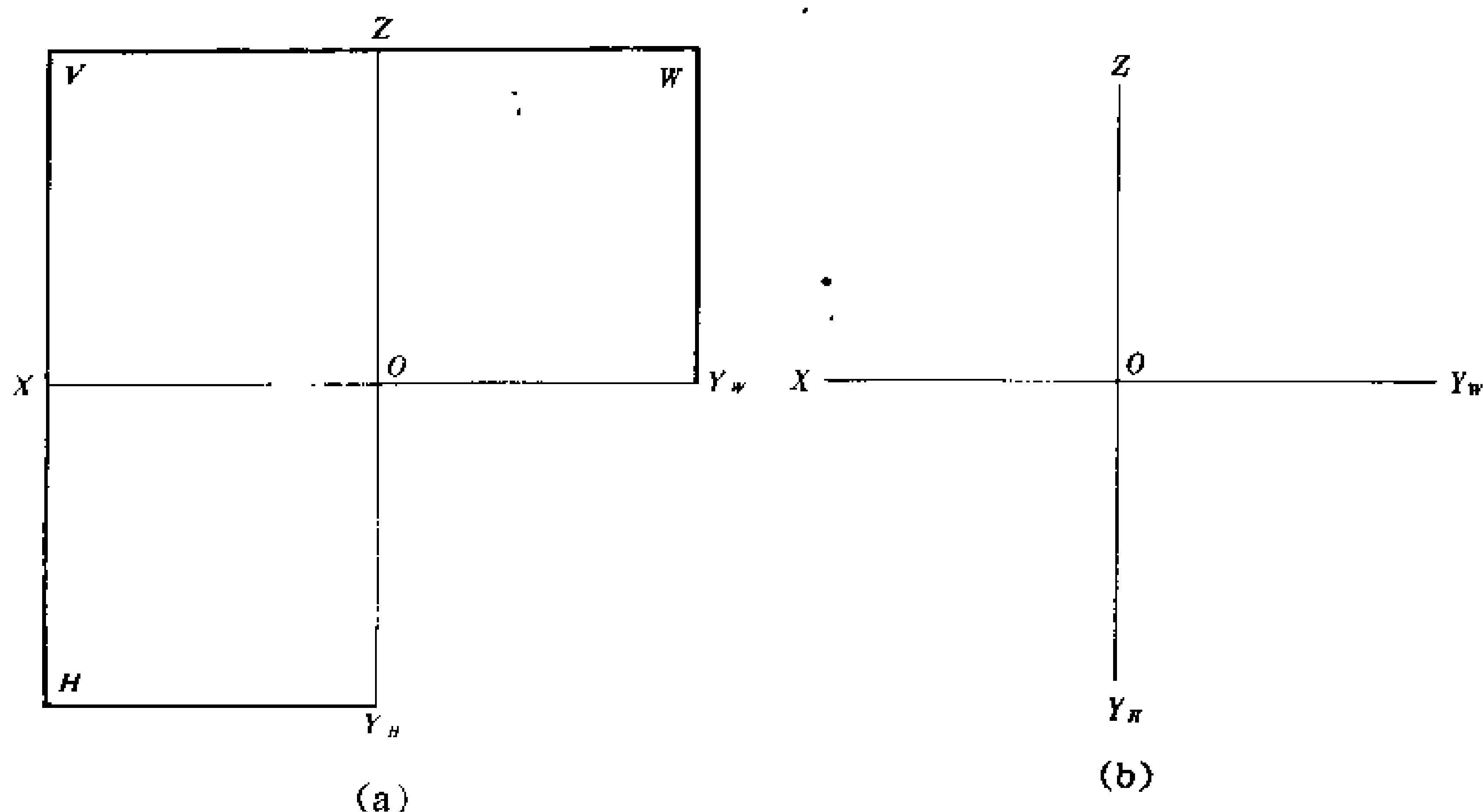


图 2-7 展开后的三面投影面

2.2 点的投影

物体的结构从几何角度去分析它，都可以归结为由点、线、面几何元素所构成。因此要掌握物体的投影，就必须学好点、线、面的投影规律和投影特性。

2.2.1 点在二投影面体系中的投影

图 2-8a 为处于 V 面和 H 面的二面体系中的空间点 A，由 A 分别向 V 面、H 面作垂直线，得垂足 a' 和 a，a' 为 A 点的正面投影，a 为 A 点的水平投影，如图 2-8b（以上空间点及其投影的符号

和写法都是统一规定的，应共同遵守)。把空间状态的 A 点的两个投影展开在一个平面上，即为图 2-8c。为了在投影图上确定空间点 A 的位置，可以保留投影轴 OX。由图 2-8 可推论出以下点的投影特性：

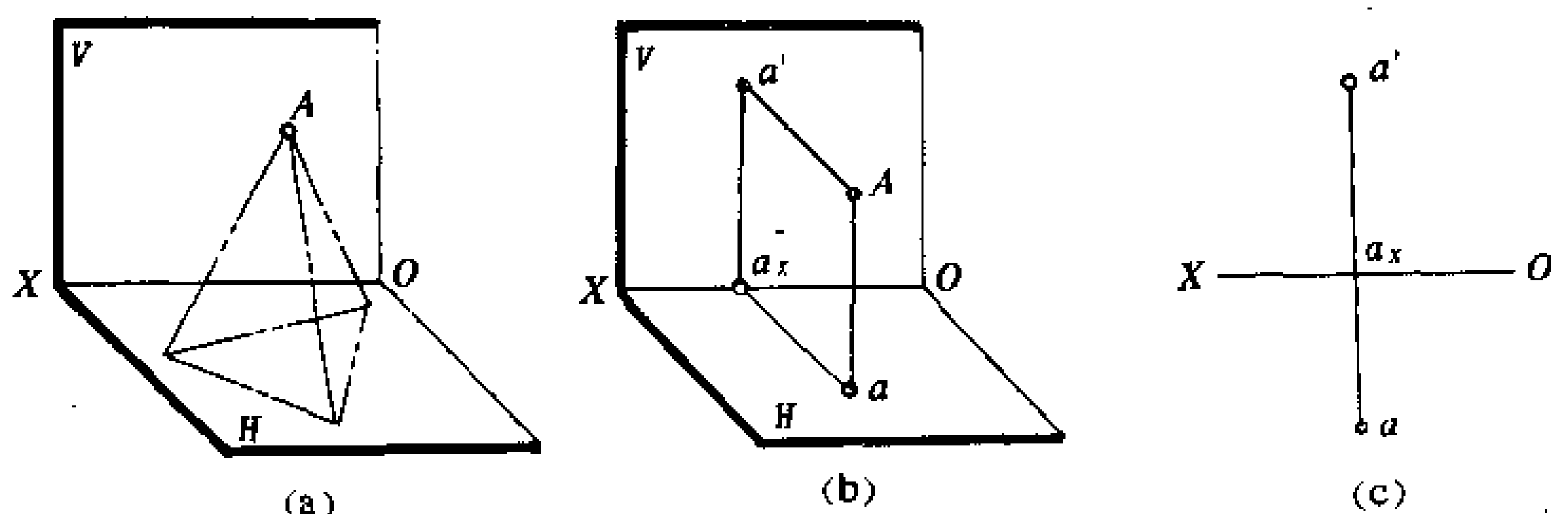


图 2-8 点在二面体系中的投影

1. 点在二投影面体系中的投影特性(即点的投影规律)

(1) A 点的正面投影 a' 和水平投影 a 的连线 $a'a$ 垂直于 OX 轴。

因为过 A 点向投影面所作的垂线 Aa' 和 Aa 组成的平面必然同时垂直于 H 面和 V 面，显然它垂直于 H 面和 V 面的交线 OX 轴，如图 2-8b，所以 $a'a_x$ 和 aa_x 都垂直于 OX 轴。当 H 面绕 OX 轴旋转重合于 V 面位置时，$a'a_x$ 和 aa_x 成为垂直于 OX 的一条直线。

(2) A 点的正面投影 a' 至 OX 轴的距离等于空间点 A 到 H 面的距离，即 $a'a_x = Aa$；A 点的水平投影 a 至 OX 轴的距离等于空间点 A 到 V 面的距离，即 $aa_x = Aa'$。这是因为 Aaa_xa' 是一矩形。 矩形对边平行相等临边垂直

2. 点在投影面上和点在投影轴上的投影特性

(1) 点在投影面上，如图 2-9a。

空间点 B 位于 V 面上，B 点的水平投影 b 在 OX 轴上并与 b_x 重合，正面投影 b' 与空间点 B 重合。空间点 C 位于 H 面上，C 点的正面投影 c' 在 OX 轴上并与 c_x 重合，水平投影 c 与空间点 C 重合。它们的投影如图 2-9b，由此可得出空间点位于投影面上的投影特性：

1) 点的一个投影位于 OX 轴上，因为点离某投影面的距离等于零。

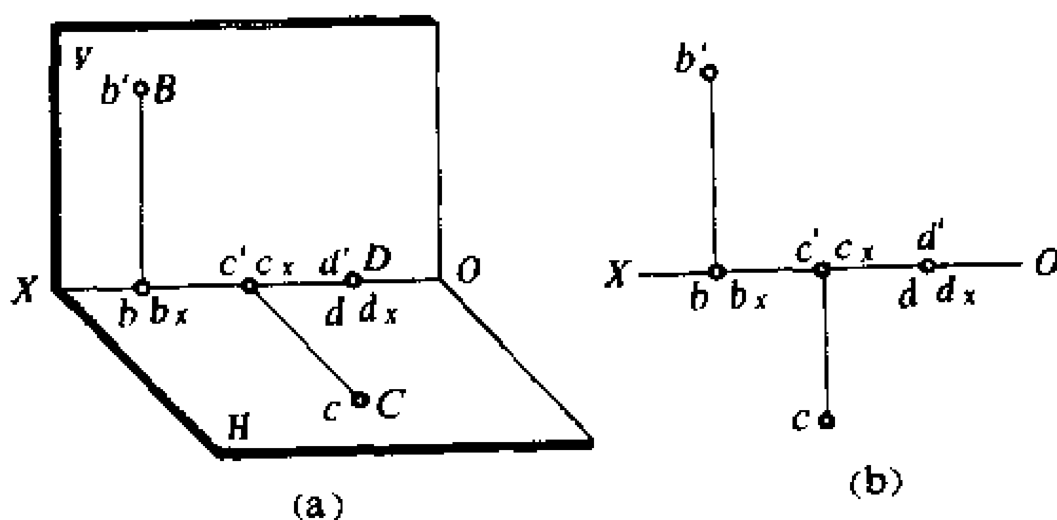


图 2-9 点在投影面上和投影轴上的投影

2) 点的另一个投影反映了空间点实际位置，因为空间点在此投影面上。

(3) 点在投影轴上，如图 2-9a。

空间点 D 位于 OX 投影轴上，D 点的正面投影 d' 和水平投影 d 都在 OX 轴上并与 d_x 重合，显然亦与空间点 D 重合，其投影如图 2-9b。因为空间点到两个投影面的距离均为零。

2.2.2 点在三投影面体系中的投影

如图 2-10a，空间点 A 处于 V 面、H 面和 W 面的三投影面体系中，A 点在 V 面上投影为 a'，在

H 面上的投影为 a，在 W 面上的投影为 a''。从 A 点的投影(图 2-10b) 可归纳出点在三投影面体系中有下列投影特性：

(1) A 点的正面投影 a' 和水平投影 a 的连线垂直 OX 轴，即 $a'a \perp OX$。前一节已证明。

(2) A 点的正面投影 a' 和侧面投影 a'' 的连线垂直 OZ 轴，即 $a'a'' \perp OZ$。证法同前。

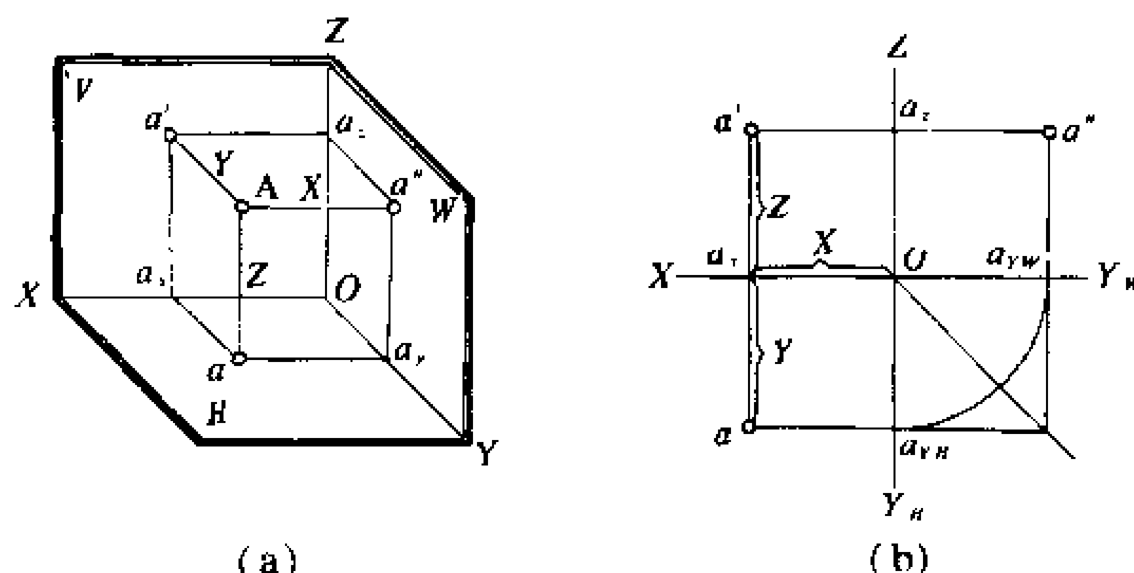
(a)　　(b)

图 2-10　点在三面体系中的投影

(3) A 点的水平投影到 OX 轴的距离，等于侧面投影到 OZ 轴的距离，即 $aa_X = a''a_Z$。为了完成其作图，可按图 2-10b 用以 O 为圆心的圆弧或 45° 分角线表明其作图关系。

2.2.3　点的三面投影与直角坐标的关系

如果把 H、V、W 三个投影面作为直角坐标平面，投影轴就成为坐标轴，O 点即为原点，这样空间点到投影面的距离可以用坐标表示。如图 2-11，空间点 A 的坐标值在投影图上规定了增值方向：X 坐标自 O 向左；Y 坐标自 O 向下；Z 坐标自 O 向上。由此，A 点的三面投影与坐标有如下关系：



(a)　　(b)

图 2-11　点的三面投影及其坐标

(1) A 点到 W 面的距离等于 Aa''，且 $Aa'' = a'a_Z = aa_{YH} = a_XO$ 为 A 点的 X 坐标。

(2) A 点到 V 面的距离等于 Aa'，且 $Aa' = a''a_Z = a_{YH}O = aa_X$ 为 A 点的 Y 坐标。

(3) A 点到 H 面的距离等于 Aa，且 $Aa = a''a_{YW} = a_ZO = a'a_X$ 为 A 点的 Z 坐标。

因此，当已知点的坐标(X、Y、Z)，即可作出该点的投影；反之，知道点的投影图亦可测得点的坐标值。

例 2-1　已知空间点 A(15，15，20)，试作出 A 点的三面投影，并绘制立体图。

三面投影的作图步骤如图 2-12。

(1) 作 X、Y、Z 轴得原点 O，然后在 OX 轴上自 O 向左量 15mm(即 X 坐标)，确定 a_X；

(2) 过 a_X 作 OX 轴垂直线，沿着轴方向自 O 向下量取 15mm(即 Y 坐标) 得 a，再沿 OZ 轴方向自 O 向上量取 20mm(即 Z 坐标) 确定 a'；

(3) 过 a' 作 OZ 轴的垂直线、从 a 作 OY_H 轴垂直线，再用 45° 分角线或圆弧求得 a''，即完成 A 点的三面投影。

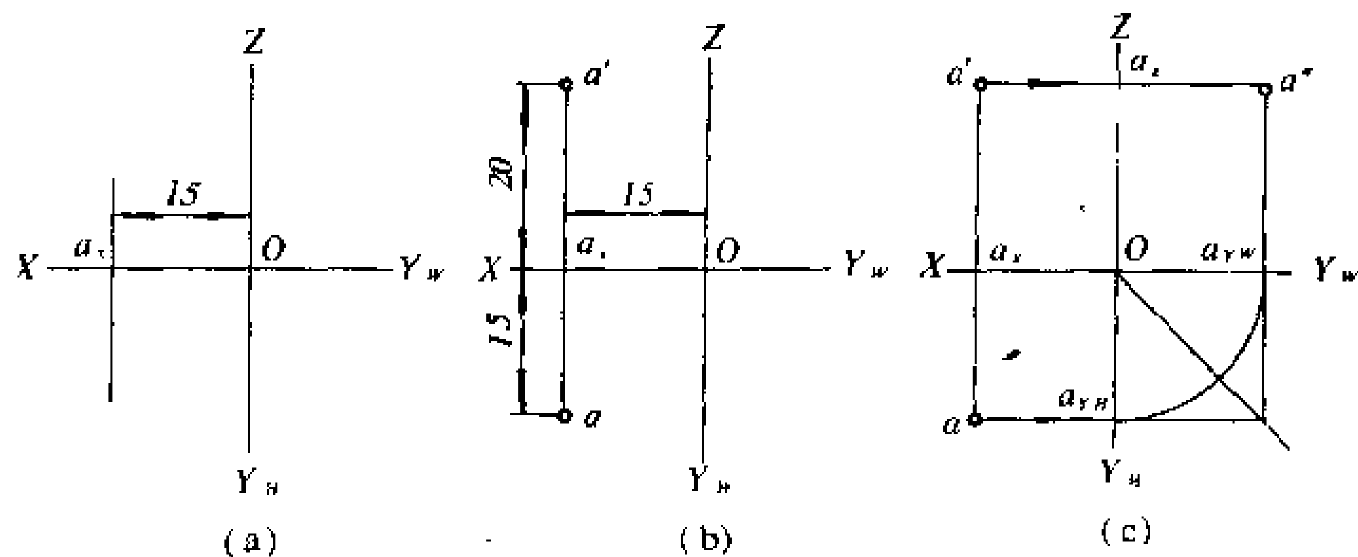


图 2-12　由点的坐标作三面投影

立体图的作法如图 2-13。

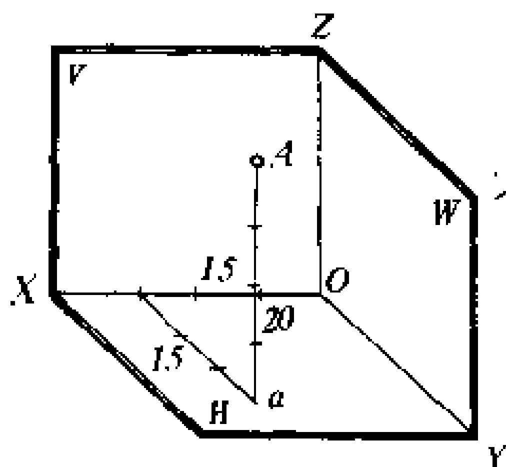


图 2-13　由坐标作立体图

例 2-2　已知空间点 A 的两投影 a'、a''，试作出 A 点的水平投影 a，并写出 A 点的坐标值。

分析

如图 2-14b，根据 A 点的正面投影 a' 到 OZ 轴的距离 $a'a_Z$ 可定出 A 点到 W 面的距离，即 A 点的 X 坐标。同时根据 a' 到 OX 轴的距离 $a'a_X$ 可定出 A 点到 H 面的距离，即 A 点的 Z 坐标。再根据 A 点的侧面投影 a'' 到 OZ 轴的距离 $a''a_Z$ 可定出 A 点到 V 面的距离，即 A 点的 Y 坐标。按点的投影规律可求得 A 点的水平投影 a。

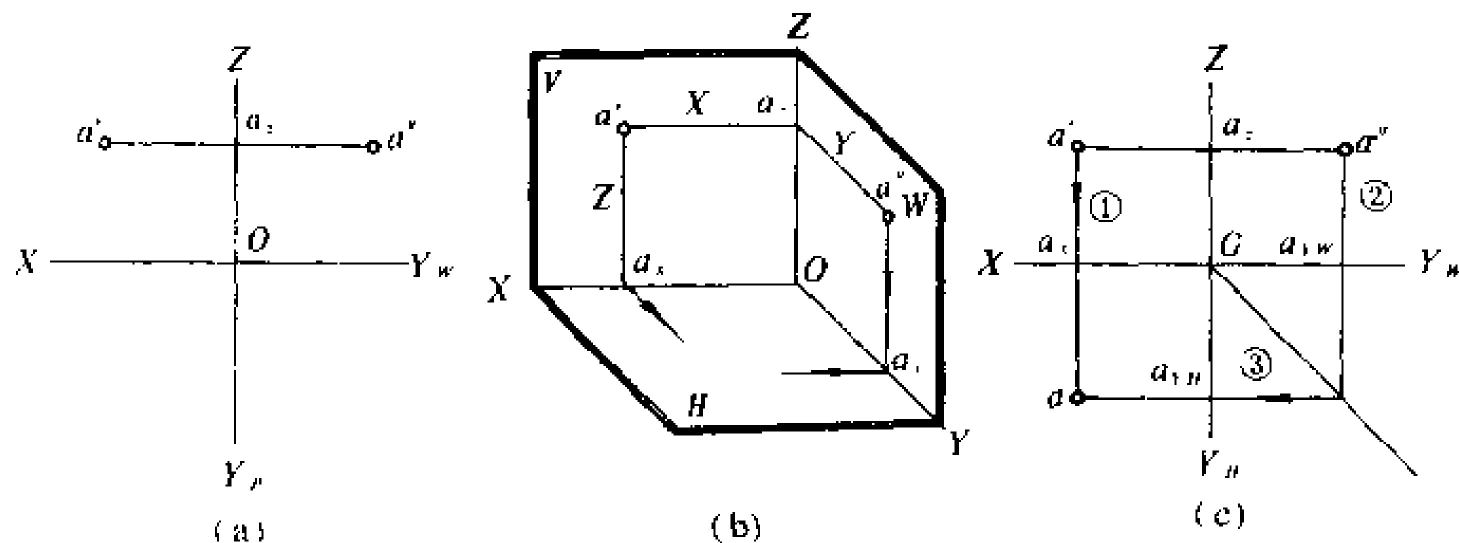


图 2-14　由点的两个投影求第三投影

作图

(1) 过 a' 作 OX 轴的垂直线；

(2) 由 a'' 作 OY_W 轴垂直线与 45° 分角线相交，过此交点作 OY_H 轴垂直线与 $a'a_X$ 的延长线相交于 a，点 a 即为 A 点的水平投影；

(2) 由投影图量得 $a'a_Z = 15\text{mm}$，$a''a_Z = 15\text{mm}$，$a'a_X = 12\text{mm}$，即空间点 A 的坐标为 $A(15,15,12)$。

2.2.4　两点的相对位置及重影点

1. 两点的相对位置

如图 2-15，当 A 和 B 两点处在同一个三面体系中时，两点之间相对位置可以用两点同一方向的坐标差来反映。因为 X 坐标是表示点到 W 面的距离，故对两点 X 坐标值的比较就可判别两点的左右位置。Y 坐标是表示点到 V 面的距离，故对两点 Y 坐标值的比较就可判别两点的前后

位置。Z坐标是表示点到 H 面的距离，故对两点 Z 坐标值的比较就可判别两点的上下（高低）位置。由图 2-15 可测得 $A(20,20,12)$ 和 $B(10,12,20)$，则 A 与 B 两点的相对位置为：

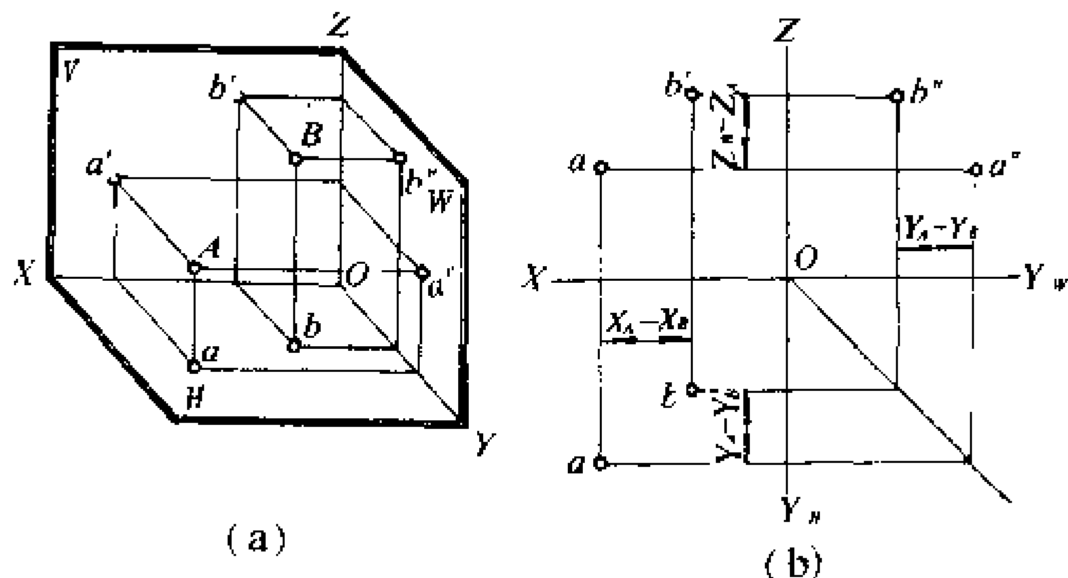


图 2-15　两点的相对位置

距离 W 面 A 点比 B 点左 $20-10=10$mm；

距离 V 面 A 点比 B 点前 $20-12=8$mm；

距离 H 面 B 点比 A 点上 $20-12=8$mm。

2. 重影点

如图 2-16 中 A 点和 B 点的坐标值分别为：$A(15,20,15)$；$B(15,10,15)$。按照两点相对位置 X 和 Z 坐标分别相等，故 A、B 点的正面投影重合，这种空间两点的同面投影重合称为点的重影。由投影图或两点坐标可知 A、B 两点前后位置 $Y_A > Y_B$，故对 V 面讲 A 点在 B 点的前方 10mm。显然作正面投影时，A 点遮住 B 点、B 点的正面投影为不可见。当点重影时，不可见的投影符号一般要加括号，即为(b')。同理，若水平投影重影，则比较两点 Z 坐标的大小；若侧面投影重影，则比较两点的 X 坐标的大小。总之，重影点的可见性的判别是根据不重影的投影图来确定。

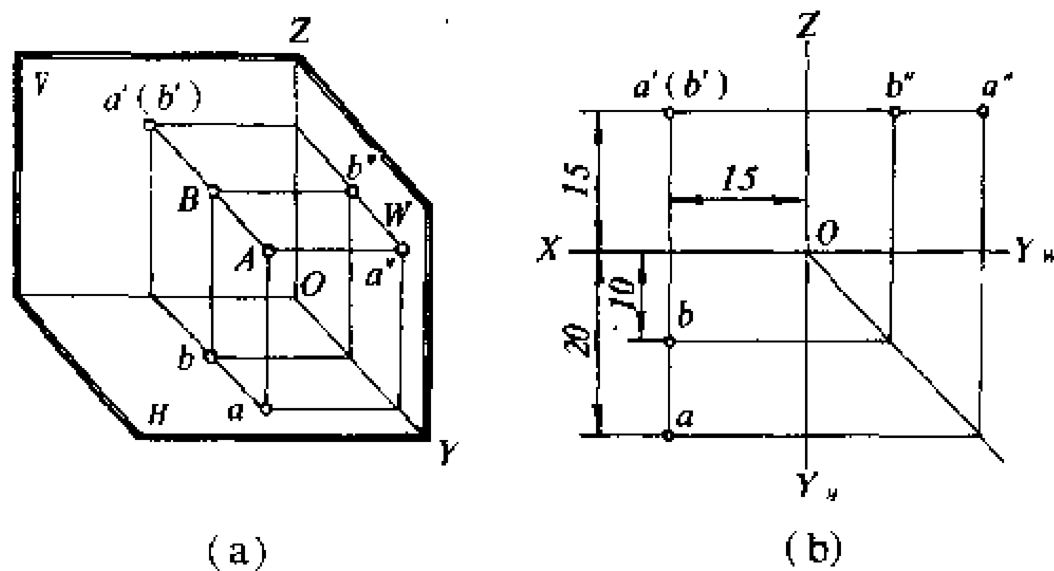


图 2-16　点的重影

2.3　直线的投影

2.3.1　直线的投影特性

由几何学可知两点决定一直线，要确定直线在空间的位置，只要定出直线上的两个点即可。因此，直线上两点的投影就完全可以决定该直线在空间的位置，再将两点的投影连接起来即为直线的投影。

直线的投影特性是由直线对投影面的相对位置而定。

1. 直线对一个投影面的投影特性

直线对投影面的相对位置，可以有以下三种：

(1) 如图2-17a，直线AB对投影面H倾角为α，它在该投影面上的投影为一直线ab(由投影线组成的P面与H面相交成一直线)。投影ab小于直线AB的实长，$ab = AB \times \cos\alpha$。

(2) 如图2-17b，直线AB对投影面H平行，它在该投影面上的投影ab反映实长，$ab = AB$，即投影长度等于空间直线长度。

(3) 如图2-17c，直线AB对投影面H垂直，它在该投影面上的投影ab为一点，即A点和B点重影。

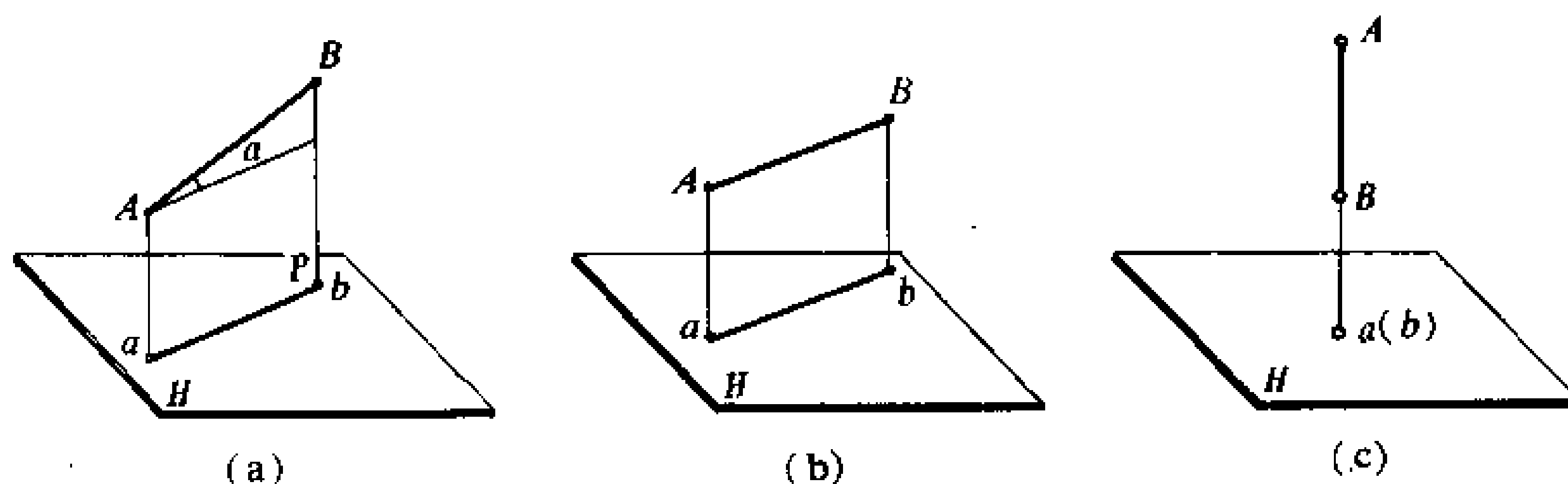


图 2-17　直线的投影

2. 直线在三投影面体系中的投影特性

以上讨论的是直线对一个投影面的投影特性。下面介绍如何得到直线在三投影面体系中各个投影面上的投影。

直线在三投影面体系中的位置，可以有以下三种：

(1) 投影面垂直线

投影面垂直线是指垂直于一个投影面、而与另外两个投影面平行的直线，有正垂线、铅垂线、侧垂线三种。现以铅垂线为例，分析其投影特性。

如图 2-18，铅垂线是一条垂直于水平投影面(H 面)的直线，其投影特性可归纳为三点：

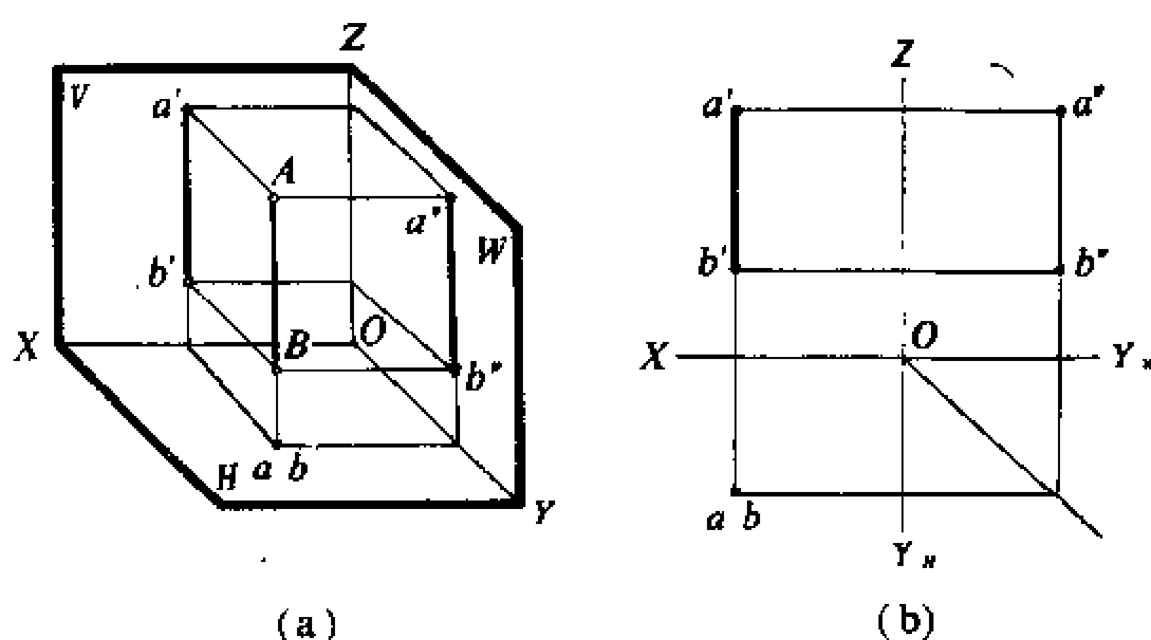


图 2-18　铅垂线的投影特性

1) 水平投影具有积聚性，ab 重影为一点；　重影为一点

2) 正面投影 $a'b'$ 垂直于 OX 轴；侧面投影 $a''b''$ 垂直于 OY_W 轴；

3) 正面投影 $a'b'$ 和侧面投影 $a''b''$ 均反映实长，即 $a'b' = a''b'' = AB$。　反映实长

有关铅垂线、正垂线、侧垂线的投影特性列于表 2-1。

表 2-1　投影面垂直线的投影特性

垂直线名称	铅垂线(⊥ *H* 面)	正垂线(⊥ *V* 面)	侧垂线(⊥ *W* 面)
立体图			
投影图			
投影特性	(1)ab 积聚为一点； (2)$a'b' \perp OX$，$a''b'' \perp OY_W$ (3)$a'b' = a''b'' = AB$。	(1)$a'b'$ 积聚为一点 (2)$ab \perp OX$，$a''b'' \perp OZ$； (3)$ab = a''b'' = AB$。	(1)$a''b''$ 积聚为一点 (2)$ab \perp OY_H$，$a'b' \perp OZ$ (3)$ab = a'b' = AB$。
应用示例			

(2) 投影面平行线

投影面平行线是指平行一个投影面、而与另外两个投影面倾斜的直线，有正平线、水平线、侧平线三种。现以正平线为例，分析其投影特性。

如图 2-19，正平线是一条平行于正立投影面（V 面），与水平投影面（H 面）和侧立投影面（W 面）分别成 α 和 γ 倾角的直线，其投影特性可归纳为

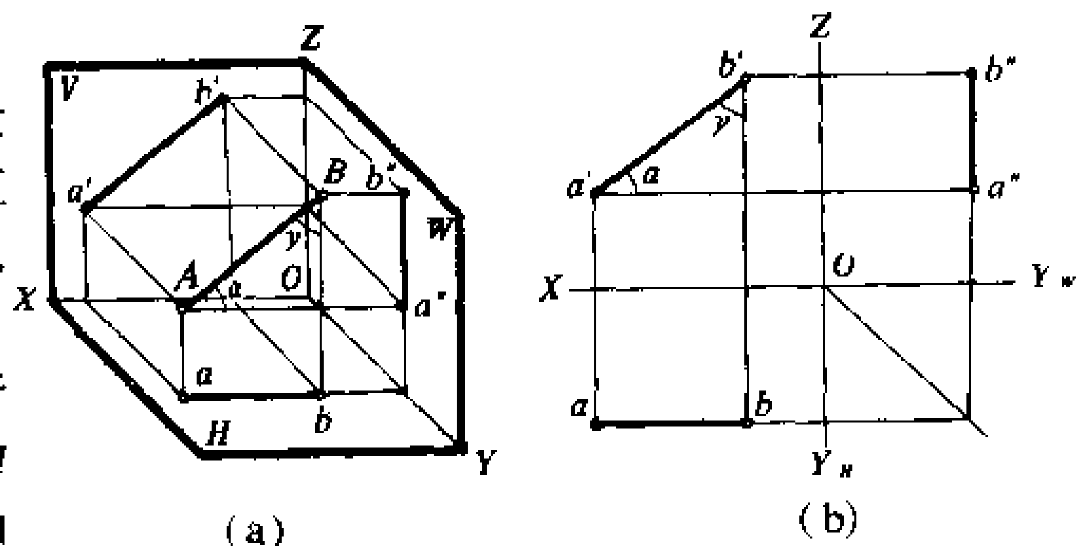


图 2-19　正平线的投影特性

三点：

1）正面投影 $a'b'$ 反映直线的实长，即 $a'b' = AB$；

2）水平投影 ab 平行 OX 轴。侧面投影 $a''b''$ 平行 OZ 轴；

3）正面投影 $a'b'$ 与 OX 轴的夹角为 α（即直线 AB 与 H 面的倾角），$a'b'$ 与 OZ 轴的夹角为 γ（即直线 AB 与 W 面的倾角）。

有关水平线、正平线、侧平线的投影特性列于表 2-2。

表 2-2　投影面平行线的投影特性

平行线名称	正平线（∥V面、倾斜于H面和W面）	水平线（∥H面、倾斜于V面和W面）	侧平线（∥W面、倾斜于H面和V面）
立体图			
投影图			
投影特性	(1)$a'b' = AB$； (2)$ab \parallel OX$，$a''b'' \parallel OZ$； (3) $a'b'$ 与 OX 轴的夹角为 α，$a'b'$ 与 OZ 轴的夹角为 γ。	(1)$ab = AB$； (2)$a'b' \parallel OX$，$a''b'' \parallel OY_W$ (3) ab 与 OX 轴的夹角为 β，ab 与 OY_H 轴的夹角为 γ。	(1)$a''b'' = AB$； (2)$ab \parallel OY_H$，$a'b' \parallel OZ$； (3) $a''b''$ 与 OY_W 的夹角为 α，$a''b''$ 与 OZ 轴的夹角为 β。
应用示例			

（3）一般位置直线

一般位置直线是指与三个投影面都倾斜的直线。

如图 2-20，直线 AB 为一般位置直线，它与三个投影面的倾角分别为 α、β、γ。其投影特性可归纳为三点：

1）一般位置直线的正面、水平面和侧面投影，对于三个投影轴都既不平行也不垂直；

2）一般位置直线的任何一个投影均不等于该直线的实长，且小于实长；

3）任何一个投影与投影轴的夹角，均不反映空间直线与任何投影面间的倾角。

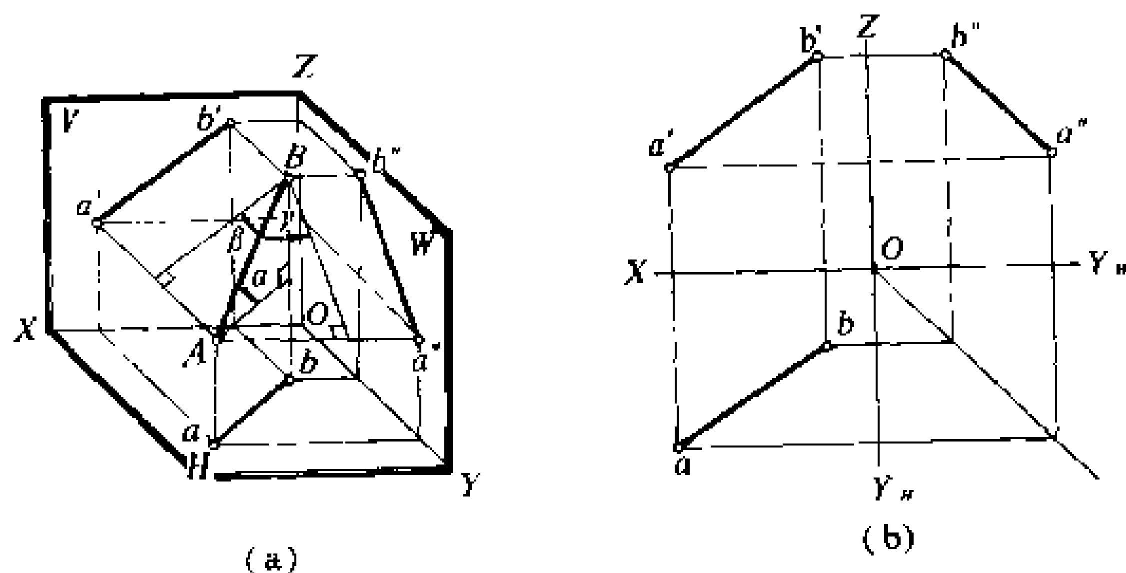


图 2-20　一般位置直线的投影

2.3.2　一般位置直线的实长及其与投影面的倾角

虽然一般位置直线的三个投影既不等于直线的实长，又不反映空间直线与任何投影面的倾角，但若已知直线的投影，则空间直线的长度及位置仍可确定。因此，可以根据直线的投影，按一定的几何关系，通过作图求得该直线的实长及其对投影面的倾角。

1. 求直线实长及其对 H 面的倾角 α

图 2-21a 所示为一空间的一般位置直线 AB，在平面 $AabB$ 中，过 A 点作 AC 平行 ab，ABC 为直角三角形。在此直角三角形中，$\angle BAC$ 为直线 AB 对 H 面的倾角 α，斜边 AB 即为直线实长，而直角边 AC 等于 ab，另一直角边 BC 等于直线两端点 B 和 A 的 Z 坐标差，即 $BC = Z_B - Z_A$。该直角三角形可以由已知直线的投影图作得，如图 2-21b。作图步骤如下：

(1) 以水平投影 ab 为一直角边，过 b 作 $bB_1 \perp ab$；

(2) 取 bB_1 等于 $Z_B - Z_A$，从而确定 B_1，bB_1 是空间直线 AB 两端点的 Z 坐标差；

(3) 连接 aB_1。

直角三角形 abB_1 即为空间直角三角形 ABC 的实形，aB_1 为直线 AB 的实长，$\angle baB_1$ 为直线 AB 对 H 面的倾角 α。

2. 求直线实长及其对 V 面的倾角 β

如图 2-21c 所示，用类似以上的方法，在直角三角形 ABD 中，斜边 AB 为直线的实长，$\angle ABD$ 为 AB 对 V 面的倾角 β。该直角三角形可以由已知直线的投影图作得，如图 2-21d。作图步骤如下：

(1) 以正面投影 $a'b'$ 为一直角边，过 a' 作 $a'A_1 \perp a'b'$；

(2) 取 $a'A_1$ 等于 $Y_A - Y_B$ 从而确定 A_1，$a'A_1$ 是空间直线 AB 两端点的 Y 坐标差；

(3) 连接 $b'A_1$。

直角三角形 $b'a'A_1$ 即为空间直角三角形 ABD 的实形，其斜边 $b'A_1$ 即为直线 AB 的实长，$\angle A_1b'a'$ 为直线 AB 对 V 面的倾角 β。

以上通过作直角三角形来求得直线的实长及其对投影面的倾角的方法，称为直角三角形

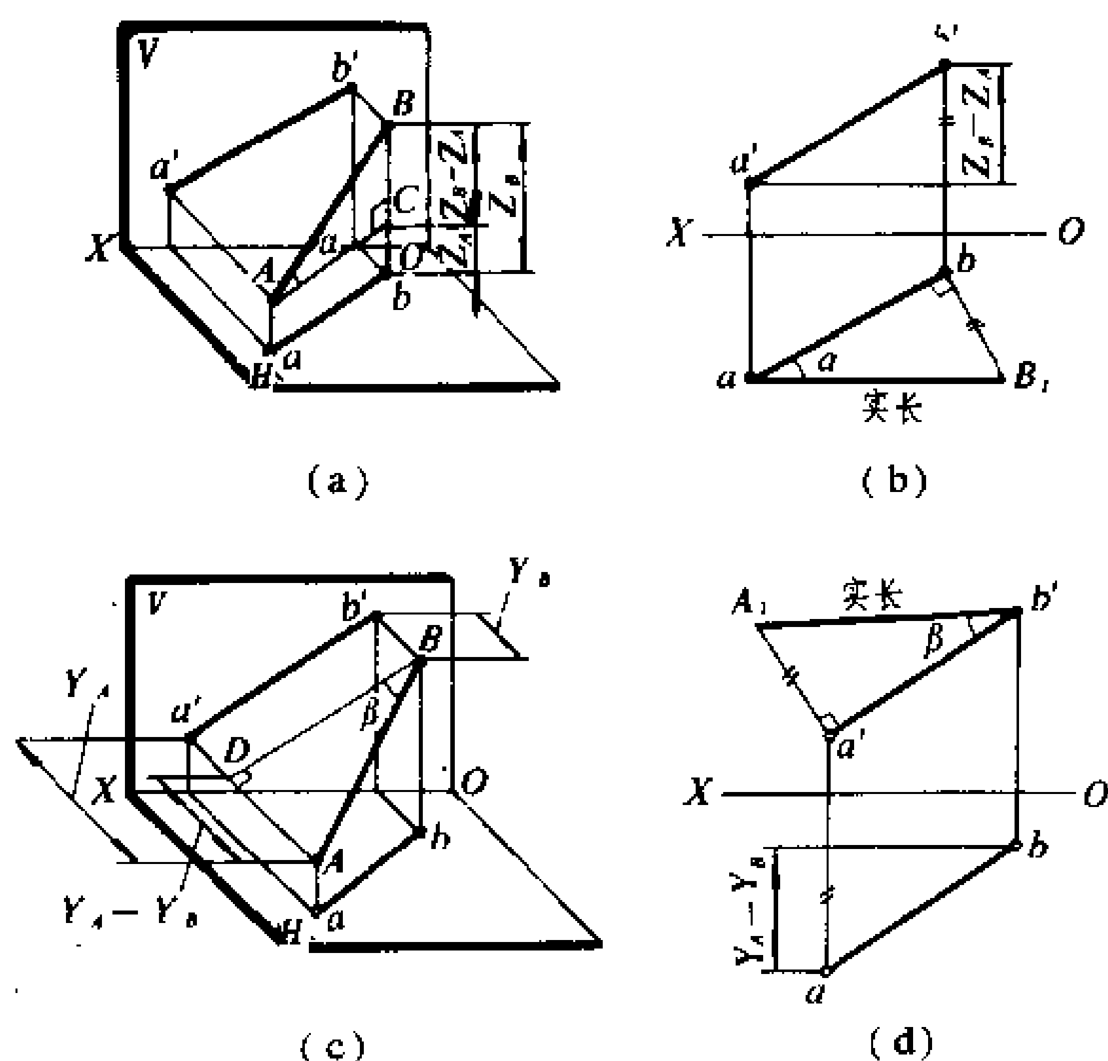


图 2-21　直角三角形法求直线的实长及其与投影面的倾角

法。应当注意，在所作直角三角形中，斜边（直线的实长）和直线投影的直角边之间的夹角，为空间直线对该投影面的倾角。

2.3.3　**直线上的点及分割线段成定比**

1. 直线上的点

如果点在直线上，则点的投影必在直线的同面投影（同一投影面上的投影）上。如图 2-22 所示，直线 AB 上有一点 C，C 点的正面投影 c' 在 $a'b'$ 上，水平投影 c 必在 ab 上。反之，如果一个点的各个投影分别位于一直线的同面投影上，则该点一定是直线上的点。

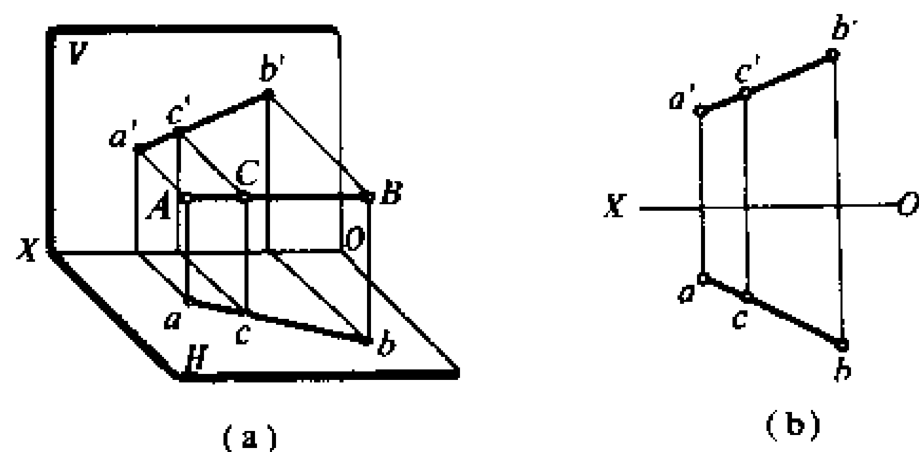


图 2-22　直线上的点

2. 直线上的点分割线段成定比

图 2-22 中 C 点将直线 AB 的各个投影分割成和空间相同的比例，即 $AC : CB = a'c' : c'b' = ac : cb$。

例 2-3　已知直线 AB 上有一点 C，C 点把直线 AB 分成 $AC : CB = 2 : 3$，试作 C 点的投影（图 2-23）。

分析

按照直线上的点把直线分成定比，则点的投影也将直线的投影分成相同比例的理论，可以直接利用定比分段法作图。

作图

(1) 过 a 任作一直线 ah；

(2) 在 ah 线段上取任意等长的五等分，得点 1,2,3,4,5，连接 $5b$，再过 ah 线上的点 2 作 $5b$ 的平行线与 ab 相交于 c 点；

(3) 过 c 作 OX 轴垂线与 $a'b'$ 相交于 c'，c' 和 c 即为 C 点的两面投影。

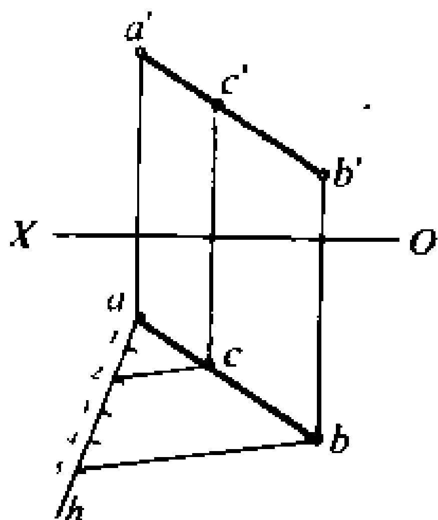


图 2-23　求 C 点分割线段的投影

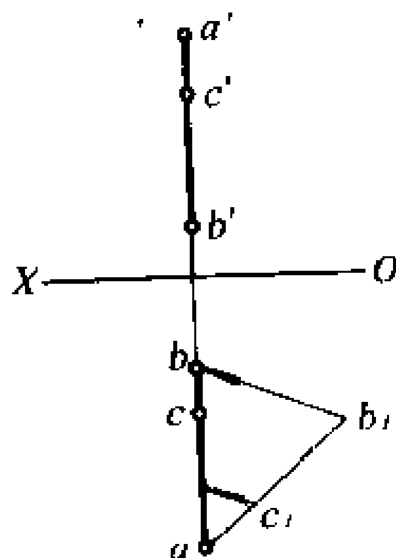


图 2-24　应用定比分段法

例 2-4　试判别 C 点是否在直线 AB 上(图 2-24)。

分析

C 点的两个投影分别在直线 AB 的同面投影上，但直线 AB 的正面投影 $a'b'$，水平投影 ab 均垂直于 OX 轴，在此特殊情况下一般不能直接用观察方法确定 C 点是否在直线 AB 上，因为 AB 为特殊位置的侧平线。这时可以应用定比分段法来验证，若设 C 点是在 AB 上，则其两投影线段之比应相等；如果两投影线段之比不等，则 C 点不在直线 AB 上，只不过是 C 点投影与 AB 直线的投影重影。

作图

(1) 过 a 作一辅助线 ab_1，使 $ab_1 = a'b'$，$ac_1 = a'c'$；

(2) 连接 b_1b，过 c_1 作 b_1b 的平行线使与 ab 相交，由于交点不是 C 点的水平投影，表明 C 点对 AB 的分段不符合定比分段法，所以 C 点不在直线 AB 上。

由此可知，直线上的点的投影必须位于直线的同面投影上并符合定比分段法。

2.3.4　两直线的相对位置

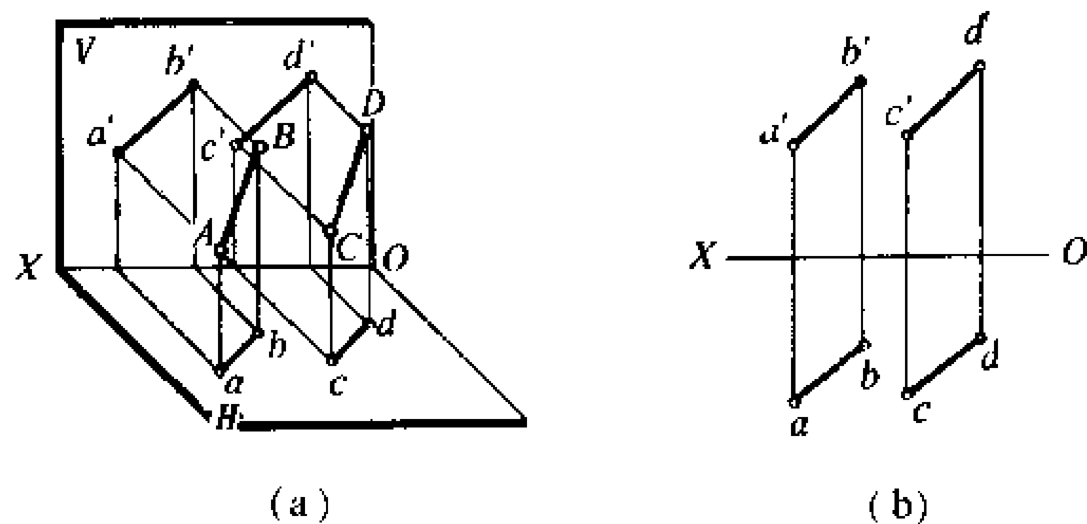
空间两直线的相对位置有三种情况，即平行、相交和交叉，它们的投影特性分别叙述如下；

1. 两直线平行

如图 2 25a，若空间两直线相互平行，则两直线的同面投影也相互平行，即若 $AB \parallel CD$，则 $ab \parallel cd$，$a'b' \parallel c'd'$。

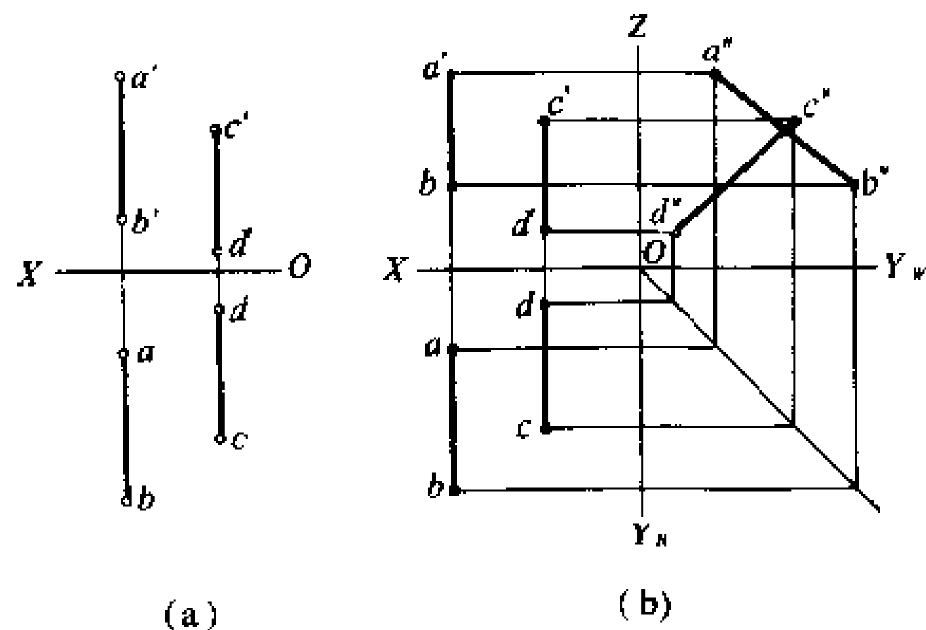
如果从投影图上要判别一般位置的两条直线是否平行，只要看它们的两个同面投影是否平行即可。但当两直线为投影面平行线时，则有时需要观察第三个同面投影。例如，图 2-26a 中 AB、CD 是两条侧平线，它们的正面投影及水平投影均互相平行，即 $a'b' \parallel c'd'$，$ab \parallel cd$；但它们的侧面投影并不平行，因此 AB，CD 两直线空间并不平行，如图 2-26b 所示。

2. 两直线相交



(a)　　　　　　　　(b)

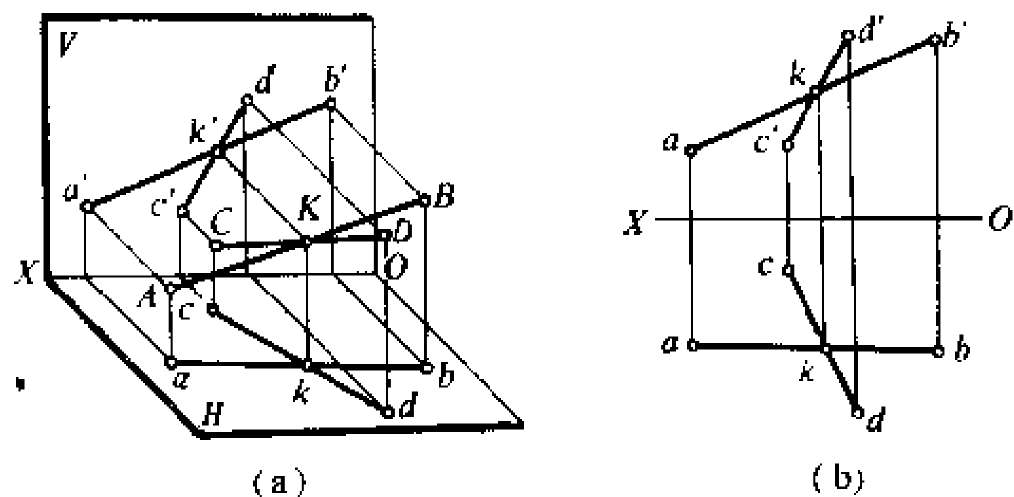
图 2-25　两直线平行



(a)　　　　　　　　(b)

图 2-26　判别两侧平线是否平行

若空间两直线相交，则它们在投影图上的同面投影亦分别相交，而且交点的投影一定符合点的投影规律。如图 2-27a，两直线 AB、CD 相交于 K 点，K 点是两直线的共有点，所以 ab 与 cd 交于 k，$a'b'$ 与 $c'd'$ 交于 k'，kk' 连线必垂直于 OX 轴，如图 2-27b。



(a)　　　　　　　　(b)

图 2-27　相交的两直线

例 2-5　已知两相交直线 AB、CD 的水平投影 ab、cd 及直线 CD 和 B 点的正面投影 $c'd'$ 和 b'，求直线 AB 的正面投影 $a'b'$（图 2-28a）。

分析

利用相交两直线的投影特性，可求出交点 K 的两投影 k、k'；再运用相交原理即可求得 $a'b'$。

作图

(1) 两直线的水平投影 ab 与 cd 相交于 k，即交点 K 的水平投影；

(2) 过 k 作 OX 轴的垂直线，求得 $c'd'$ 上的 k'；

(3) 连接 b' 和 k' 并将其延长；

(4) 再过 a 作 OX 轴垂直线与 $b'k'$ 延长线相交于 a'，$a'b'$ 即为所求。

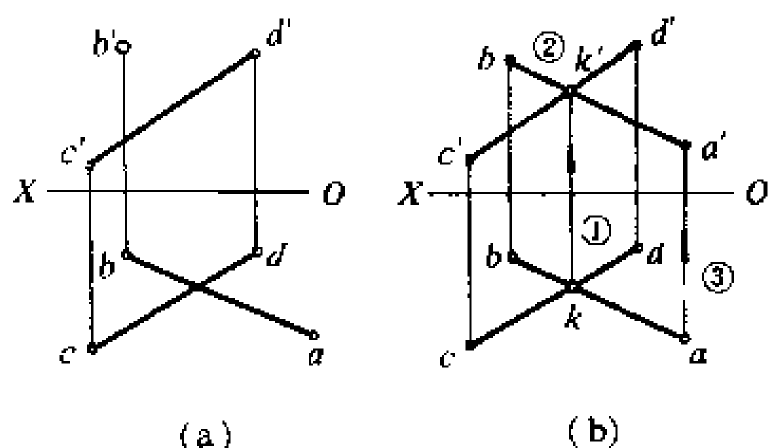


图 2-28　求相交两直线的投影

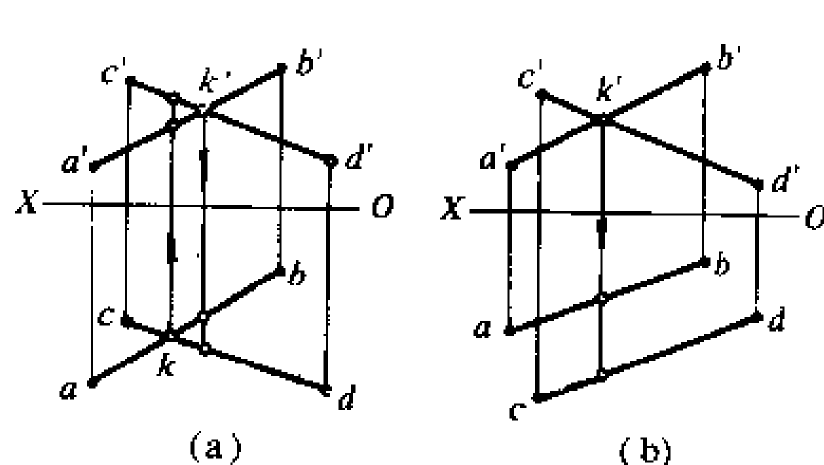


图 2-29　交叉两直线的投影

3. 两直线交叉

图 2 29 中 AB，CD 为空间既不平行又不相交的两直线，称为两直线交叉。按照其定义，交叉的两直线在空间不存在交点，然而它们在投影图上的同面投影却可能出现相交的情况，这是由于两直线上点的同面投影的重影之故，如图 2-29a。交叉两直线的某一同面投影还可能会有平行的情况，但该两直线的另一同面投影是不平行的，如图 2-29b 所示。图 2-26 中所介绍的两侧平线 AB，CD 也属两交叉直线。

现举例说明两交叉直线上重影点可见性的判别。

例 2-6　试判别图 2-30 所示的交叉两直线 AB，CD 的水平投影的可见性。

分析

图中两直线的水平投影交于一点，这一点是两投影的重影，实际上是两个点的投影。设 AB 上的点为 Ⅰ，CD 上的点为 Ⅱ，空间点 Ⅰ，Ⅱ 的水平投影重影。在判别可见性时，只需要比较 Ⅰ、Ⅱ 两点的 Z 坐标。

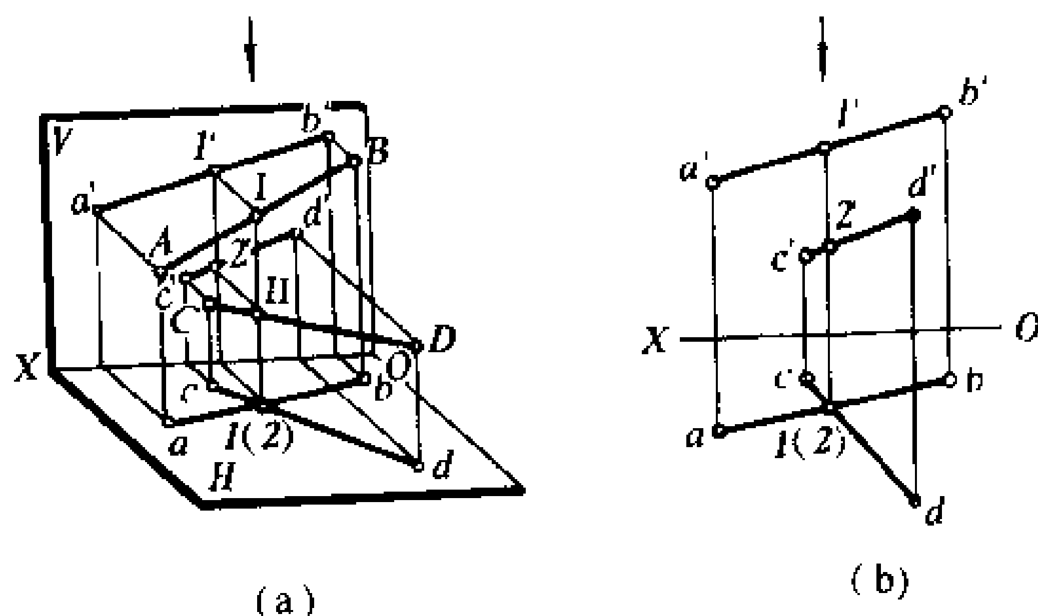


图 2-30　判别重影点的可见性

作图

(1) 在图 2-30b 中，由重影处作 OX 轴垂直线，得到 $a'b'$ 上的 $1'$，$c'd'$ 的 $2'$。

(2) 由于 $Z_Ⅰ > Z_Ⅱ$，所以对 H 面讲，Ⅰ 点在上，Ⅱ 点在下。水平投影时 Ⅰ 点遮住了 Ⅱ 点，Ⅱ 点的水平投影为不可见。

同理，若要判别正面投影的重影点时，只需比较重影处两点的 Y 坐标；对 V 面讲，Y 坐标大的点在前，前面的点遮住了后面的点。

4. 两直线相交成直角的投影

显然，当两直线相交直角，且两直线都平行于某一投影面时，则两直线在该投影面上的投影的夹角仍为直角；若两直线都不平行于某一投影面时，则两直线在该投影面上的投影不反映直角。

但是，当两直线相交成直角、且其中有一条直线平行于某一投影面时，则通常两直线在该投影面上的投影仍为直角。

如图 2-31a 所示，AB，BC 为相交成直角的两直线，其中 BC 平行于 H 面(即水平线)，AB 为一

般位置直线。现证明两直线的水平投影 ab 和 bc 仍相互垂直，即 $bc \perp ab$。

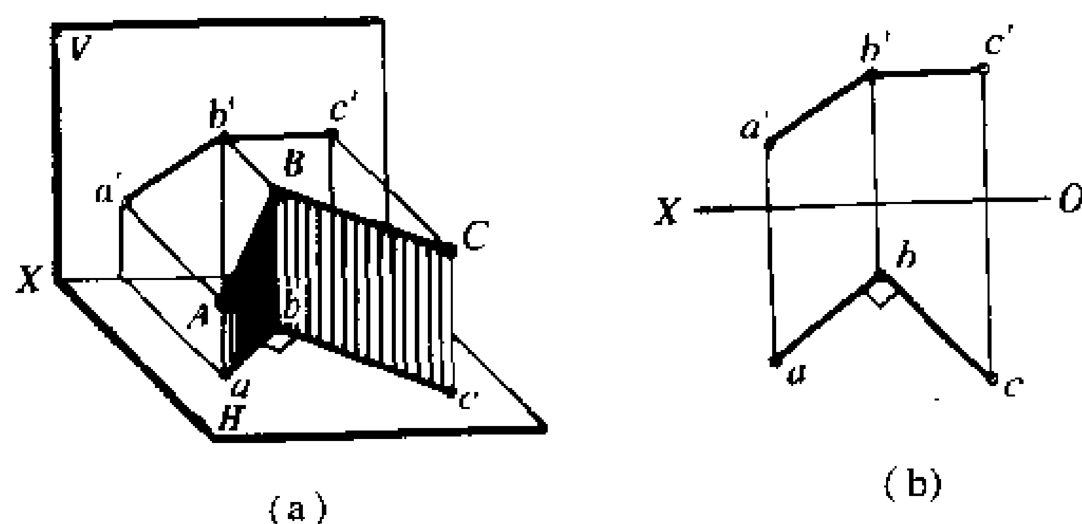


图 2-31　一边平行于投影面的直角的投影

证明：因 $BC \perp Bb$，$BC \perp AB$，所以 BC 垂直于平面 $ABba$；又因 $BC \parallel bc$，所以 bc 也垂直于平面 $ABba$。根据立体几何定理可得：$bc \perp ab$，即在水平投影中 $\angle abc$ 等于直角。而在正面投影中，由于 AB 和 BC 都不平行于 V 面，所以 $\angle a'b'c'$ 不等于直角。

例 2-7　求 A 点到正平线 BC 的距离。

分析

一点到一直线的距离是指该点到直线的垂直距离。图 2-32 中，BC 为一正平线，所以可利用相交两直线成直角的投影特性，在正平线 BC 的正面投影 $b'c'$ 上着手，过 A 点作直线 AK 使与 BC 线垂直。求得交点 K 后，再用求实长的方法，求出 AK 的实长，即为 A 点到正平线 BC 的距离。

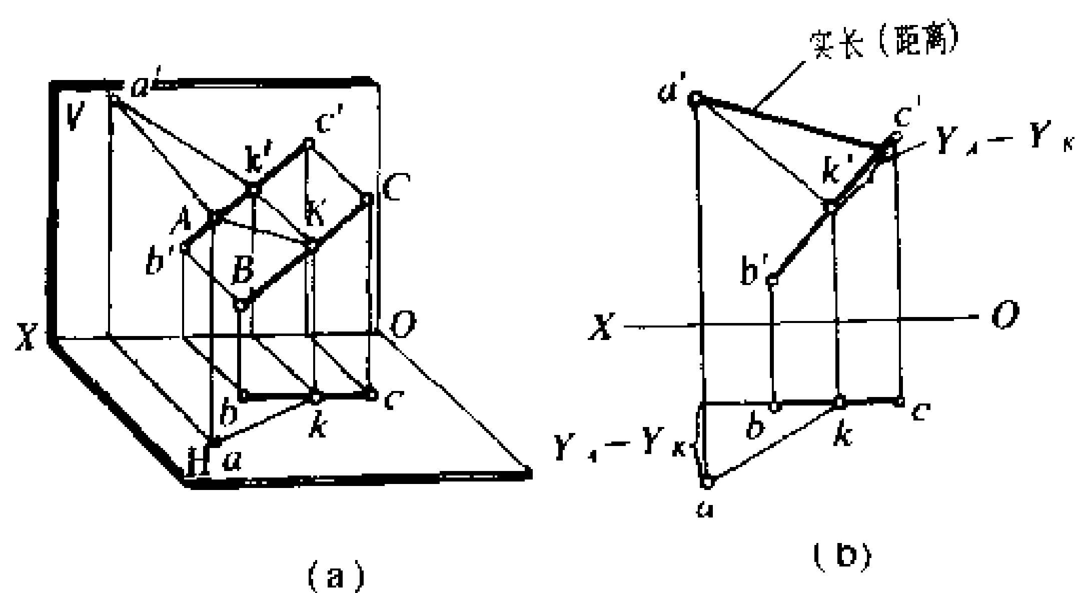


图 2-32　一点到直线的距离

作图

(1) 从 a' 作 $b'c'$ 的垂直线，得到垂足 K 的正面投影 k'。

(2) 过 k' 作 OX 轴的垂直线使与 bc 相交，得垂足 K 的水平投影 k。

(3) 连接 AK 得到垂直距离的两个投影 $a'k'$，ak。

(4) 以 $a'k'$ 为一直角边，以 A 和 K 两点的 Y 坐标差为另一直角边，作直角三角形，所得的斜边即为 A 点到 BC 的距离。

2.4　平面的投影

2.4.1　平面的表示法

在投影图中表示平面的方法有：几何元素表示法和迹线表示法。

1. 几何元素表示法

空间一平面可以由下列任一形式几何元素确定，故它们的投影就能表示平面的投影。

(1) 不在同一直线上的三点；

(2) 一直线和直线外一点；

(3) 相交两直线；

(4) 平行两直线；

(5) 一平面图形(如三角形等)。

平面的投影可用以上几何元素的投影表示。图 2-33a 为不在同一直线上的三点 A,B,C 的投影，即表示由此三点所决定的平面的投影。同理，也可由其他形式的几何元素的投影表示平面的投影，如图 2-33b,c,d,e。这些几何元素的投影是可以相互转换的，但所决定的平面位置仍不改变。

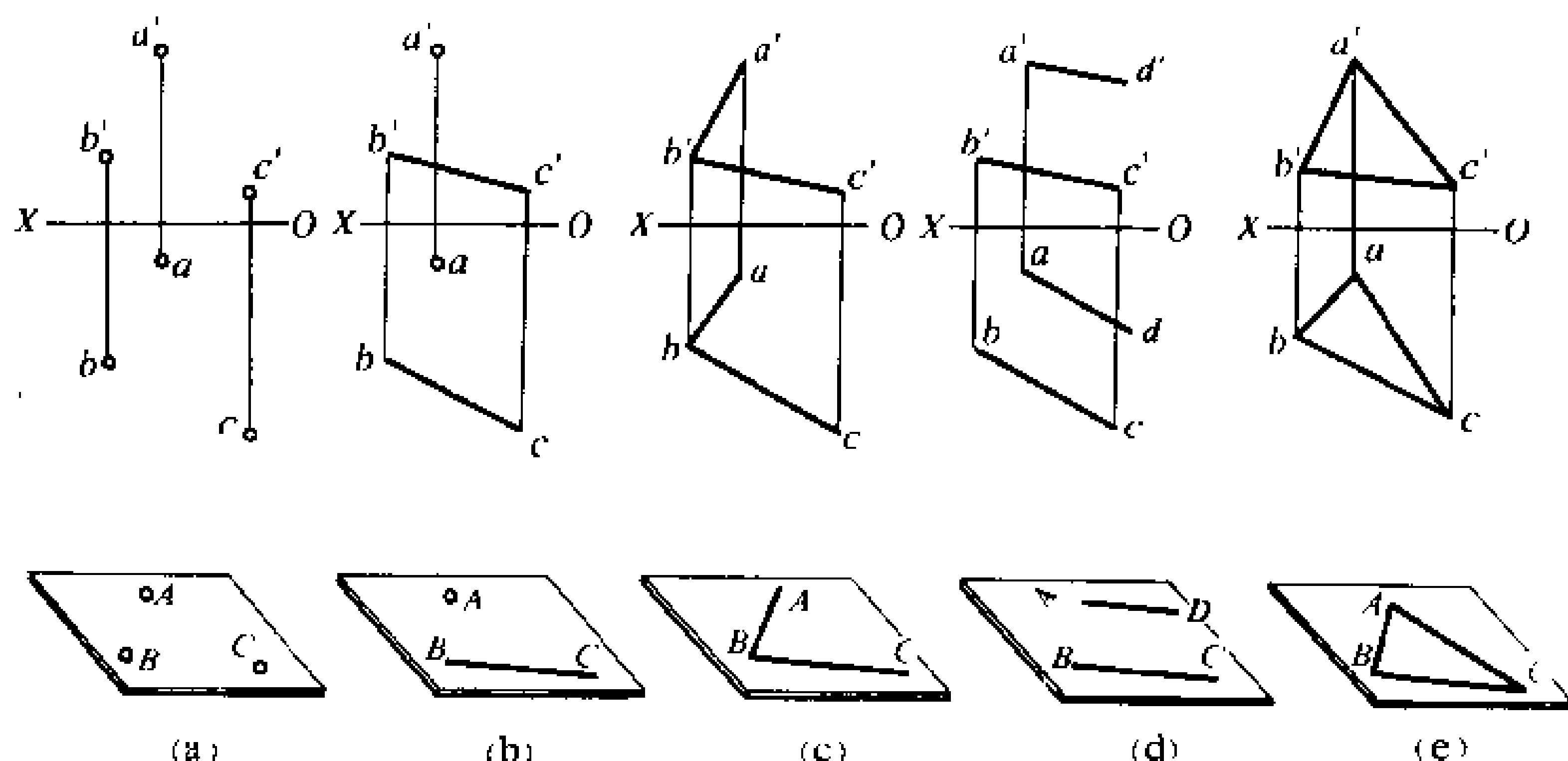


图 2-33 各种几何元素表示的平面

2. 迹线表示法

平面与投影面的交线称为迹线，用迹线表示的平面称为迹线平面。如图 2-34，平面 P 分别与投影面相交于 P_V、P_H。P_V 是平面 P 与 V 面的交线，称为正面迹线；P_H 是平面 P 与 H 面的交线，称为水平迹线。P_V 与 P_H 相交于 P_X 点，P_X 点称为迹线集合点，显然集合点 P_X 是在 OX 轴上，它是平面 P 与 OX 轴的交点。

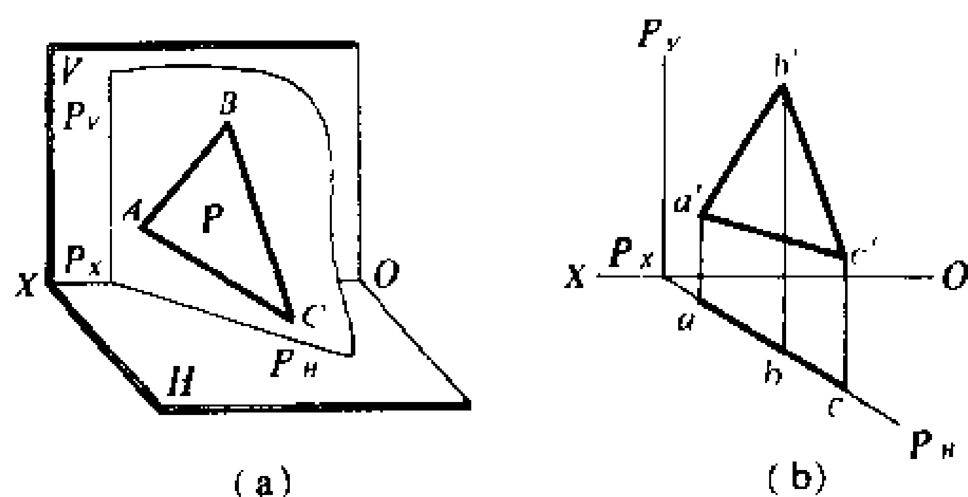


图 2-34 迹线表示的平面

2.4.2 平面的投影特性

空间平面用以上两种表示方法就可以确定该平面在空间的位置。而平面的投影特性是由平面对投影面的相对位置决定的。

1. 平面对一个投影面的投影特性

平面对投影面相对位置，有以下三种情况：

(1) 如图 2-35a，平面 P 平行于投影面 H，其投影 p 反映了空间平面 P 的实形(大小、形状相

同)。

(2) 如图 2-35b,平面 P 倾斜于投影面 H,其投影 p 不反映实形(形状类似)。

(3) 如图 2-35c,平面 P 垂直于投影面 H,其投影 p 积聚成一条直线。

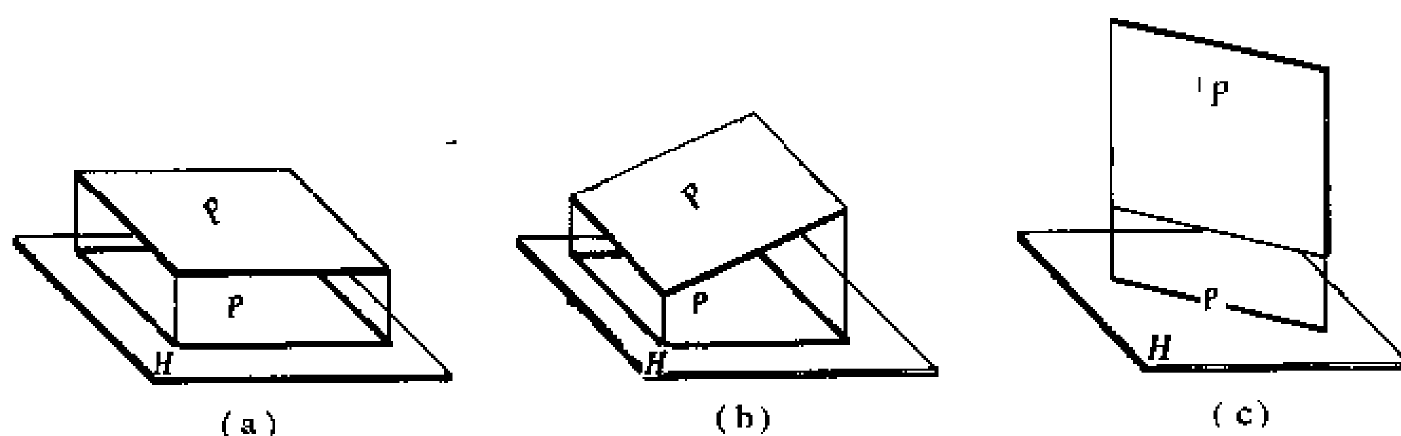


图 2-35　平面的投影

2. 平面在三投影面体系中的投影特性

以平面对一个投影面的投影特性为基础,即可归纳出平面在三投影面体系中各个投影面上的投影特性。

平面垂直一个投影面而对另外两个投影面呈倾斜位置,称为垂直面,垂直面可分为铅垂面(垂直 H 面)、正垂面(垂直 V 面)及侧垂面(垂直 W 面)三种。现以铅垂面为例,分析其投影特性。

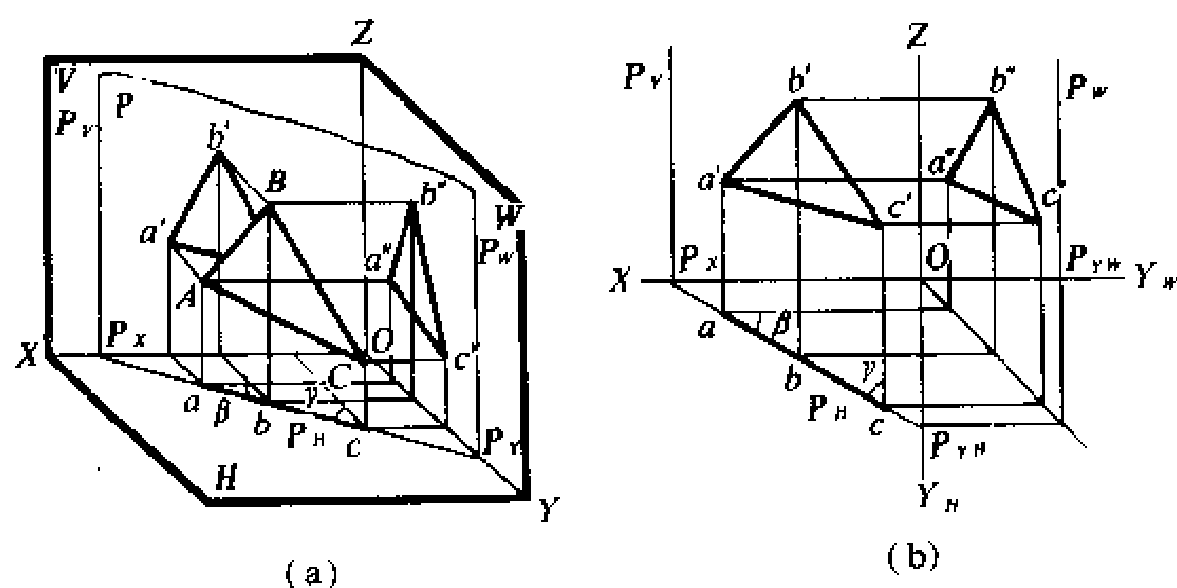


图 2-36　铅垂面的投影及其特性

铅垂面垂直 H 面,如图 2-36 中三角形 ABC 所确定的平面。根据正投影性质,平面在 H 面的投影积聚成一直线(水平投影 abc),平面上一切点或直线等的水平投影重合在这条直线上。此外,水平投影与 OX 轴的夹角反映平面与 V 面的倾角 β,与 OY 轴的夹角反映平面与 W 面的倾角 γ,而 α 等于 90° 在投影图上不必表示。平面的正面投影和侧面投影都是原图形的类似形,如正面投影 $a'b'c'$ 和侧面投影 $a''b''c''$ 都是空间平面 ABC 的类似形。

若将平面 ABC 扩大,则与投影面 V、H、W 相交得迹线 P_V、P_H 和 P_W。P_W 是平面 P 与侧面 W 的交线,称为侧面迹线。P_W 是与 P_H 交于集合点 P_Y 在 OY 轴上。因为平面 P 垂直于 H 面,所以 P_H 有积聚性;同时 P 面与 V 面的交线 P_V 必然垂直于 OX 轴,P 面与 W 面的交线 P_W 必然垂直于 OY 轴。用迹线表示平面和用平面上两相交直线或两平行直线表示平面的实质相同,而它与几何元素表示法的不同处是迹线平面只画出与迹线本身重合的一个投影,而另一投影在投影轴上就不画出。例如,水平迹线 P_H 的正面投影和正面迹线 P_V 的水平投影均在 OX 轴上,但都不画出。

关于铅垂面、正垂面、侧垂面的投影特性，列于表 2-3。

表 2-3　投影面垂直面的投影特性

垂直面名称	铅垂面（⊥ H 面）	正垂面（⊥ V 面）	侧垂面（⊥ W 面）
立体图			
投影图			
投影特性	（1）水平投影积聚成一直线； （2）正面投影和侧面投影的形状为类似形； （3）水平投影和 OX 轴的夹角为 β，与 OY_H 夹角为 γ，$\alpha = 90°$； （4）$P_V \perp OX$，$P_W \perp OY_W$。	（1）正面投影积聚成一直线； （2）水平投影和侧面投影的形状为类似形； （3）正面投影与 OX 轴的夹角为 α、与 OZ 轴的夹角为 γ，$\beta = 90°$； （4）$P_H \perp OX$，$P_W \perp OZ$。	（1）侧面投影积聚成一直线； （2）水平投影和正面投影的形状为类似形； （3）侧面投影与 OY_W 的夹角为 α，与 OZ 轴的夹角为 β，$\gamma = 90°$ （4）$P_V \perp OZ$，$P_H \perp OY_H$。
应用示例			

(2) 投影面平行面

平行于一个投影面同时必垂直于另外两个投影面的平面称为平行面。平行面分为水平面(平行 H 面)、正平面(平行 V 面) 及侧平面(平行 W 面) 三种。现以水平面为例,分析其投影特性。

水平面是平行 H 面的平面,它必然同时垂直于 V 面和 W 面,即 $\alpha = 0°, \beta = 90°, \gamma = 90°$,如图 2-37 中矩形 $ABCD$ 所表示的平面,在 H 面上其投影反映实形,即水平投影 $abcd$ 等于空间平面 $ABCD$。在 V 面和 W 面上的投影积聚成一直线,分别平行 OX 轴和 OY 轴。

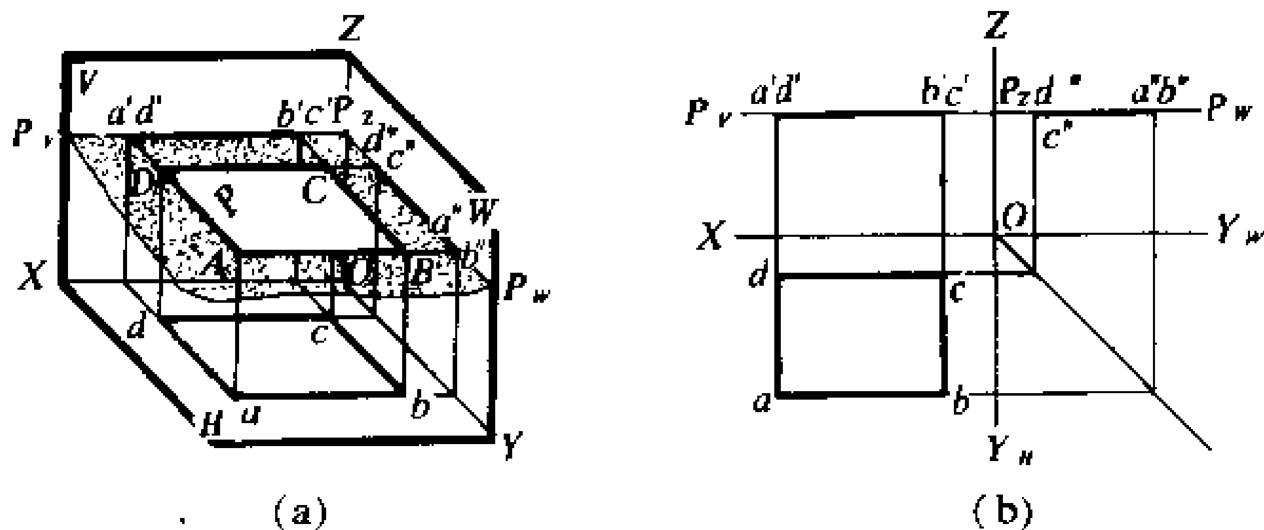


图 2-37 水平面的投影及其特性

如果把表示 P 平面的矩形 $ABCD$ 扩大,则 P 面与 V 面、W 面相交得两条迹线 P_V、P_W,它们分别与平面 $ABCD$ 的正面投影、侧面投影重合并具有积聚性。因 P 面平行于 H 面,故无 P_H。

有关水平面、正平面、侧平面的投影特性,列于表 2-4。

(3) 一般位置平面

如图 2-38,一般位置平面 ABC 对各个投影面都处于倾斜位置,所以各个投影不会积聚成直线,也不反映实形及平面对投影面倾角的真实大小、各个投影都是空间原图形的类似形。若为迹线平面,则其投影如图 2-39 所示,各迹线都相交于相应的投影轴。

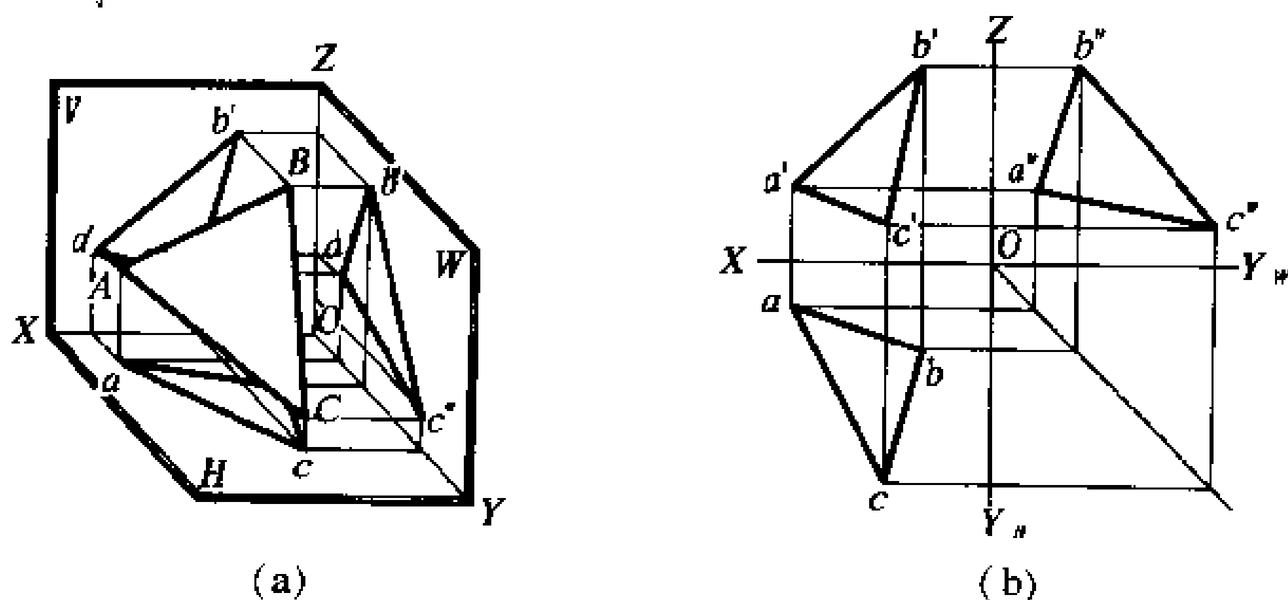


图 2-38 一般位置平面(三角形)的投影

在物体的投影中,常用几何元素表示物体的面。根据以上三类平面的投影,可知一个空间平面,除了处于垂直投影面外,它的投影都表现为封闭图形。因此,投影图上的一个封闭图形,通常是表示空间的一个面的投影。

表 2-4　投影面平行面的投影特性

平行面名称	水平面(∥*H* 面)	正平面(∥*V* 面)	侧平面(∥*W* 面)
立体图			
投影图			
投影特性	(1) 水平投影反映实形； (2) 正面投影和侧面投影均积聚为直线； (3) 正面投影 ∥ OX 轴，侧面投影 ∥ OY_W 轴； (4) P_V ∥ OX 轴，P_W ∥ OY_W 轴且有积聚性，无 P_H。	(1) 正面投影反映实形； (2) 水平投影和侧面投影均积聚为直线； (3) 水平投影 ∥ OX 轴，侧面投影 ∥ OZ 轴； (4) P_H ∥ OX 轴，P_W ∥ OZ 轴且有积聚性，无 P_V。	(1) 侧面投影反映实形； (2) 水平投影和正面投影均积聚为直线； (3) 水平投影 ∥ OY_H 轴，正面投影 ∥ OZ 轴； (4) P_H ∥ OY_H 轴，P_V ∥ OZ 轴且有积聚性，无 P_W。
应用示例			

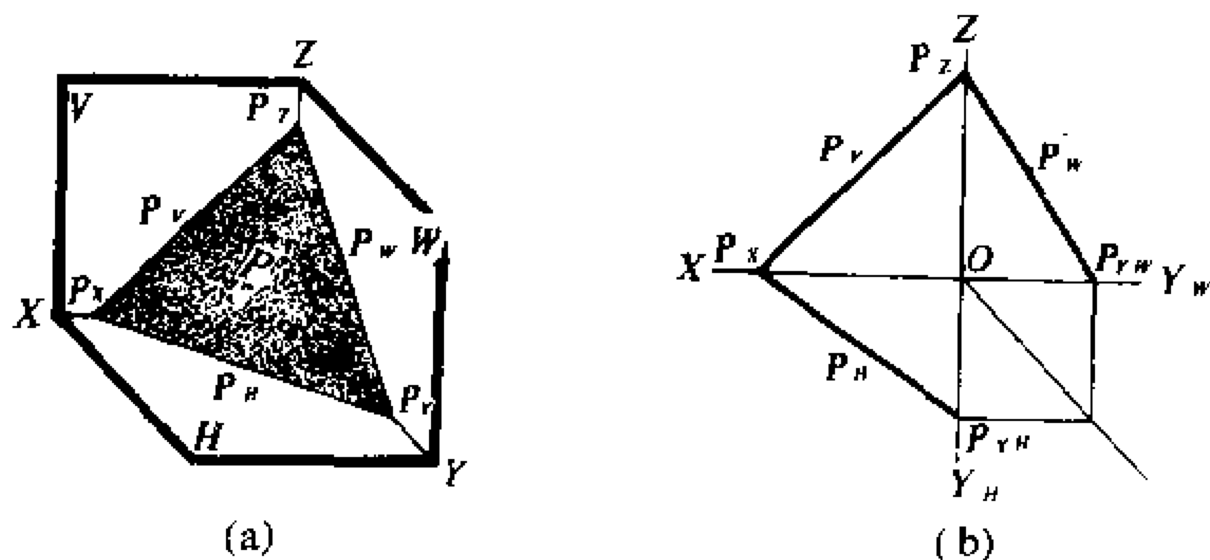


图 2-39 一般位置迹线平面的投影

2.4.3 平面上的点和直线

平面的投影完全确定了平面的空间位置，在投影图中作平面上的图形、线段或点就同空间平面上作图一样。因此，凡是初等几何中有关平面作图的原理在投影中也完全适用，且为投影图中作图的依据。

1. 平面上取点和直线

根据初等几何知识，在平面上取点、直线的基本原理和方法是：

(1) 点在平面内某一直线上，点就必定在该平面上。因此只要在 Q 平面的直线上取点，所取点就必在平面上，如图 2-40 中的 M 点和 N 点。

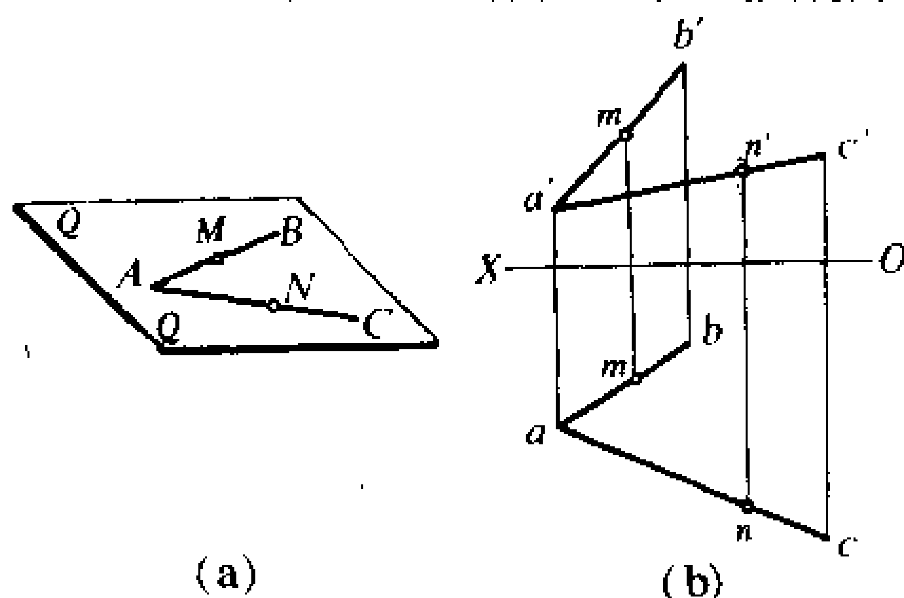


图 2-40 平面上取点

(2) 直线通过平面上两点或通过一点且平行平面上一直线，则直线就必定在该平面上。因此，作通过 Q 平面上两已知点或一已知点且平行平面上已知直线，则所作直线必在该平面上，如图 2-41 中的直线 PT。

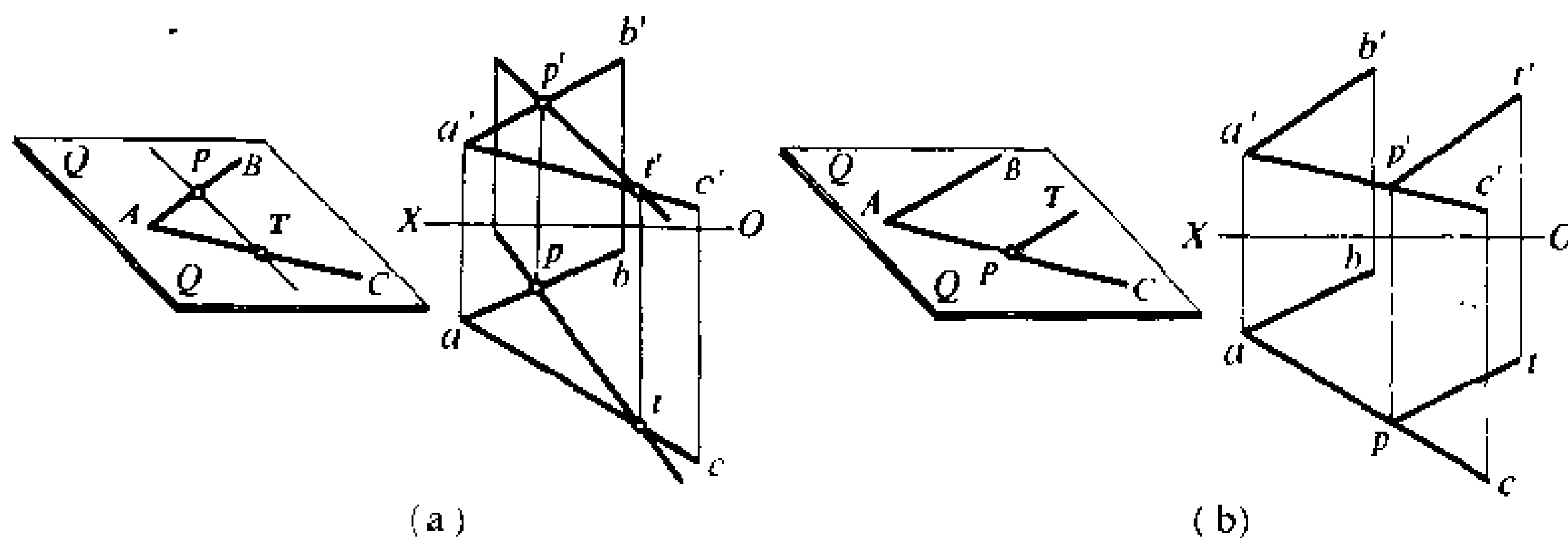


图 2-41 平面上取线

例 2-8 如图 2-42，已知平面由两平行直线 AB、CD 确定，试判别点 G 是否在平面上。

分析

若点在平面上，则点必定在平面的一直线上。故只要通过点 G 的一个投影 g(或 g') 作平面的直线投影，如果该点的另一个投影 g'(或 g) 在此直线的同面投影上，则该点在平面上，否则就不在平面上。

作图

(1) 过 g' 任作一直线，交 $a'b'$ 于 m'，交 $c'd'$ 于 n'；

(2) 由 m' 和 n' 作 OX 轴垂直线，分别在 ab、cd 上求得 m 和 n；

(3) 连接 mn，则 MN 为平面上一直线；

(4) 延长 mn，因 g 不在延长线上，所以 G 点不在直线 MN 上，则 G 点不在该平面上。

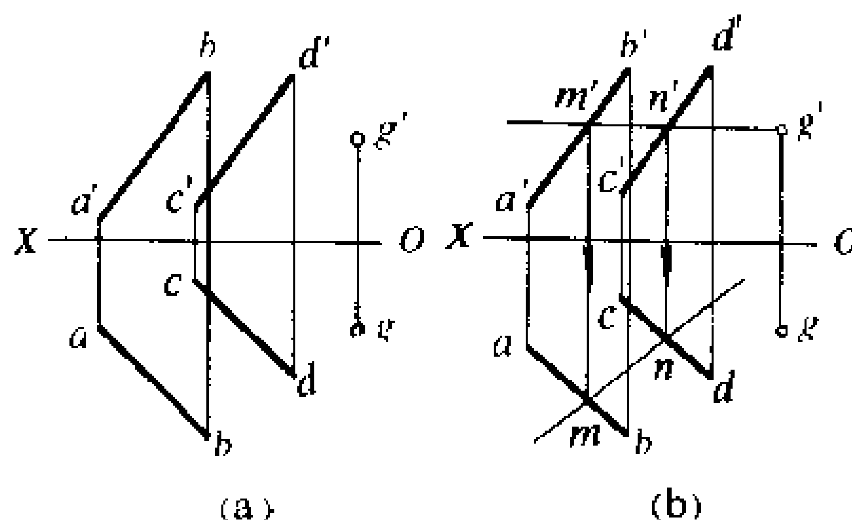


图 2-42 判别点 G 是否在平面上

例 2-9 如图 2-43，已知四边形 $ABCD$ 的水平投影 $abcd$ 及正面投影 $a'b'c'$，试完成其正面投影。

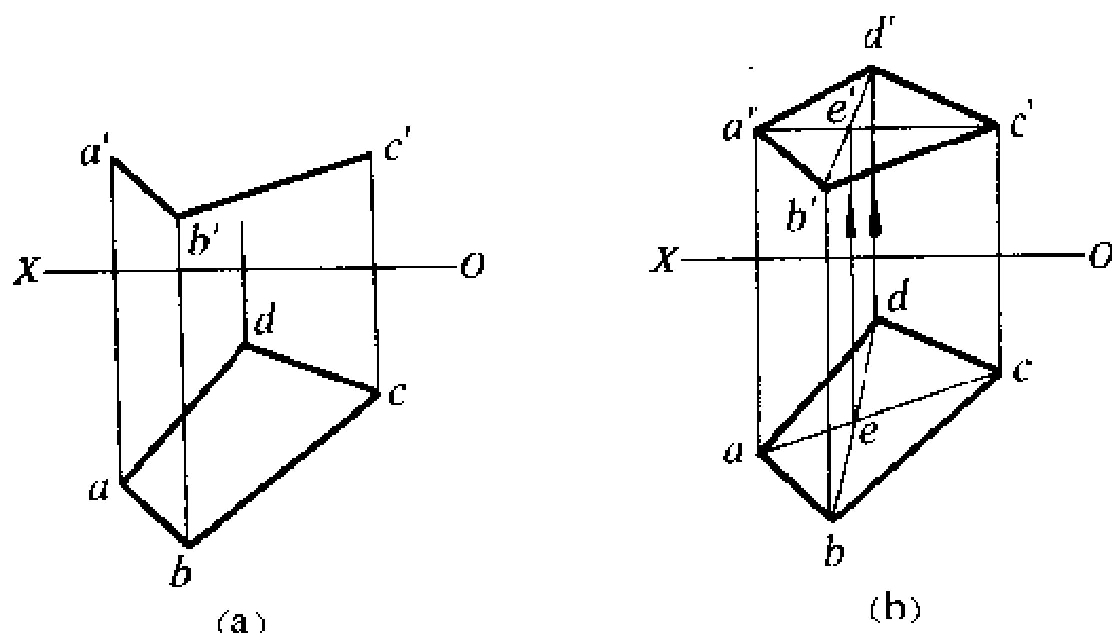


图 2-43 画全四边形的正面投影

分析

四边形 $ABCD$ 是一平面图形，故点 D 可看作平面上的一点。因三点可以确定平面，故连接 ABC 得此平面。再把 D 点看成平面 ABC 上的点，那么 D 点的另一投影 d' 就可通过平面上取点的方法求得，然后连接 $a'b'c'd'$，即得四边形的正面投影。

作图

(1) 连接 AC 的同面投影 $a'c'$、ac，得三角形 ABC 的两个投影；

(2) 连接 BD 的水平投影 bd，BD 为平面 ABC 的一直线，与 AC 相交，其水平投影交 ac 于 e，E 即为两直线的交点；

(3) 由交点 E 的水平投影 e，作得其正面投影 e'；

(4) D 为该平面上的一点，其水平投影 d 在 be 延长线上，则其正面投影 d' 必在 $b'e'$ 的延长线上；

(5) 连接 $a'b'c'd'$，即得四边形 $ABCD$ 的正面投影。

2. 平面上平行于投影面的直线

平面上平行于投影面的直线，既具有平面上直线的投影特性，又有平行线的投影特性。如图 2-44，在平面 ABC 上作一水平线 MN。因是水平线，其正面投影平行于 OX 轴，又因为它是在平面上，与平面存在着从属关系，即过平面上两点 M 和 N。因此，作图时必须先从正面投影着手，再由正面投影 $m'n'$ 求得水平投影 mn。

又如图 2-45，在迹线表示的铅垂面 P 上作一水平线 AB。按照平面上的直线的投影特性，AB

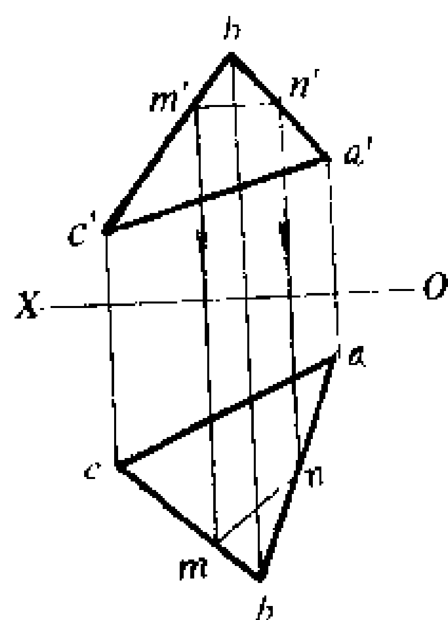


图 2-44 作平面上的水平线

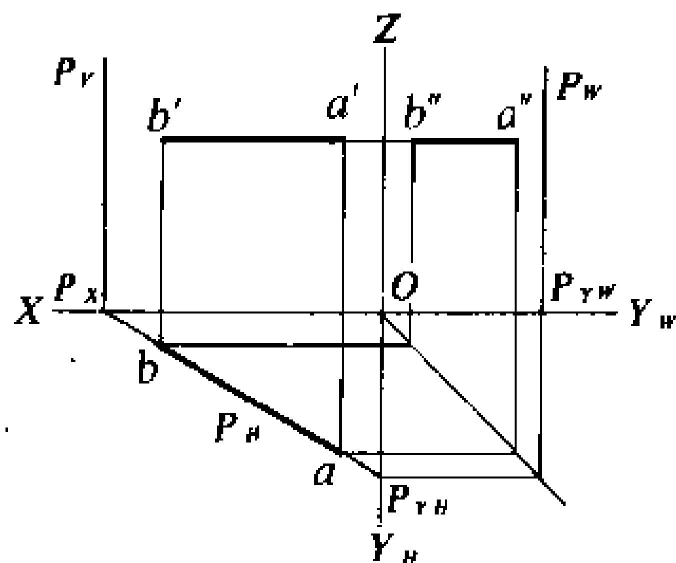


图 2-45 铅垂面上的水平线

的水平投影 ab 应积聚在 P_H 上，而正面投影 $a'b'$ 应平行于 OX 轴，同时可求得侧面投影 $a''b''$，它平行于 OY_W 轴。平面上各类平行线的投影特性列于表 2-5。

表 2-5 平面上平行线的投影特性

名称	一般位置平面	垂直面(迹线)	投影特性
水平线			(1) 正面投影 ∥ OX 轴； (2) 水平投影反映直线的实长； (3) 铅垂面时，水平投影积聚在 P_H 上。
正平线			(1) 水平投影 ∥ OX 轴； (2) 正面投影反映直线的实长； (3) 正垂面时，正面投影积聚在 P_V 上。
侧平线			(1) 水平投影 ∥ OY_H 轴； 正面投影 ∥ OZ 轴； (2) 侧面投影反映直线的实长； (3) 侧垂面时，侧面投影积聚在 P_W 上。

3. 过点、直线作平面

前面已介绍了在平面上作点、直线的原理与方法，现在运用这些原理和方法来解决过已知点或直线作平面的问题。

(1) 过已知点作平面

通过一点作平面，如果无附加条件的话，能够作无数多个平面，它相对于投影面来说可以是各种位置的平面。根据平面表示方法的不同，这些平面的表现形式也可以是各不相同的。

图 2-46 为过已知点 A 作一平面。现列出三种形式：图 2-46b 是作过 A 点的两条相交直线 BC、DE 所组成的一般位置平面，因为 BC 和 DE 两直线位置可任定，所以它可以是无数多个，并且形式也可以各不相同；图 2-46c 是作过 A 点的铅垂面(图中为三角形 ABC，其中 BC 边通过 A 点，且平面与 V 面的夹角为 β)，显然亦有无数个可作；图 2-46d 是作过 A 点的水平面 P(用迹线表示)，根据水平面的投影特性可知，这样的平面只有一个可作。

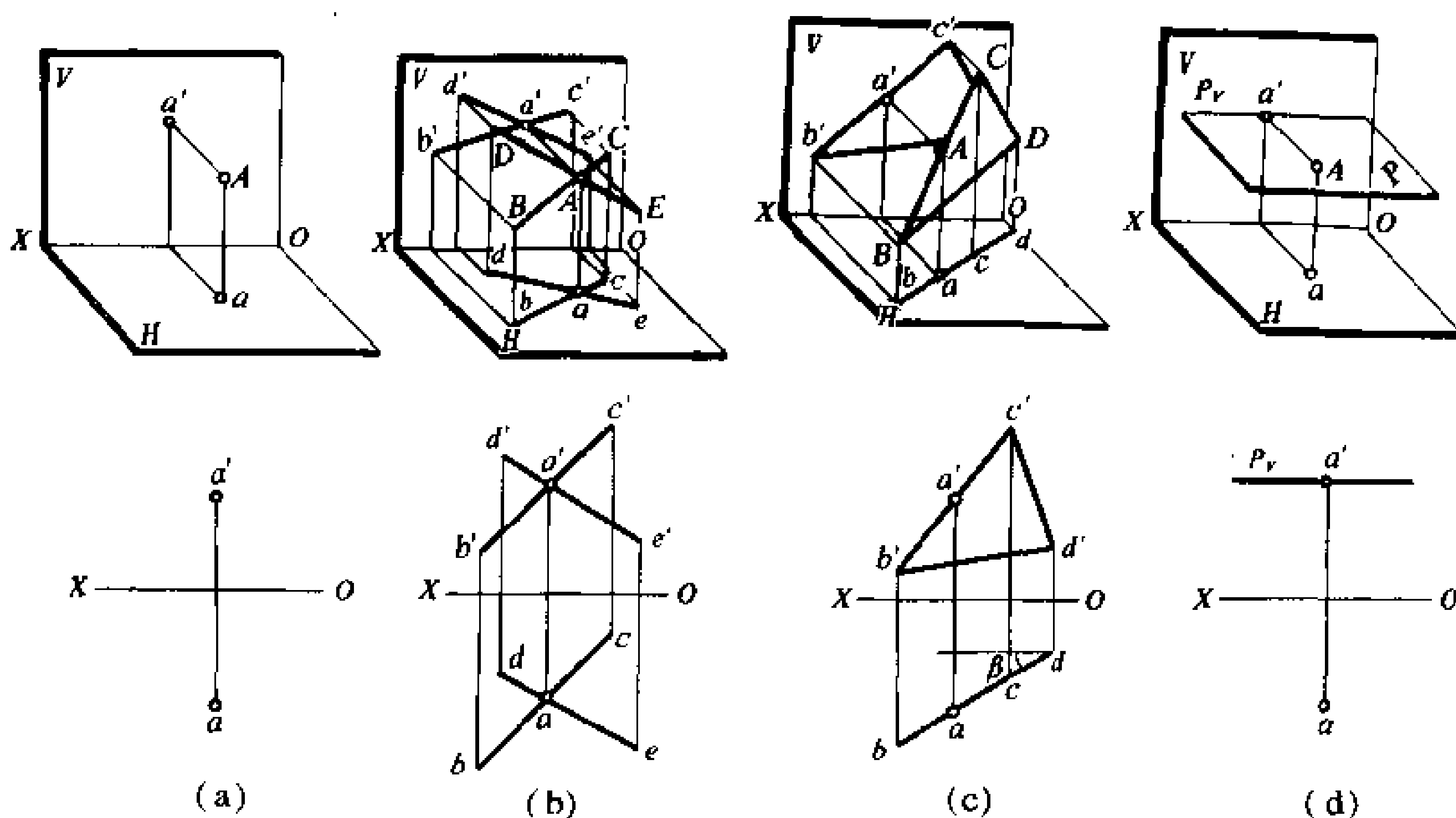


图 2-46　过点作平面

(2) 过已知直线作平面

过已知直线作平面，如果没有其他条件的限制，则可作无数个平面，如图 2-47。现列出三种形式：图 2-47b 是作过 AB 直线的一般位置平面 ABC，由于 C 点是任意的，所有无数个平面可作；图 2-47c 是作过 AB 直线且相交于 A 的 AC，由 AB、AC 组成一正垂面，它与 H 面的倾角为 α，故过直线 AB 只能作一个正垂面；图 2-47d 是作过 AB 直线，并用迹线表示的铅垂面 P，它与 V 面的倾角为 β，因此过直线 AB 也只能作一个铅垂面。

应当注意：通过一般位置直线是不可能作水平面和正平面的，只有通过平行线才能作出平行面，例如通过一水平线可作水平面或铅垂面。

4. 垂直面上圆的投影特性

若圆所在的平面是平行面时，则按照平行面的投影特性可知，它在平行的投影面上的投影为一直径相同的圆。但若圆所在的平面是垂直面，如图 2-48a 为一正垂面时，则圆的投影特性如下：

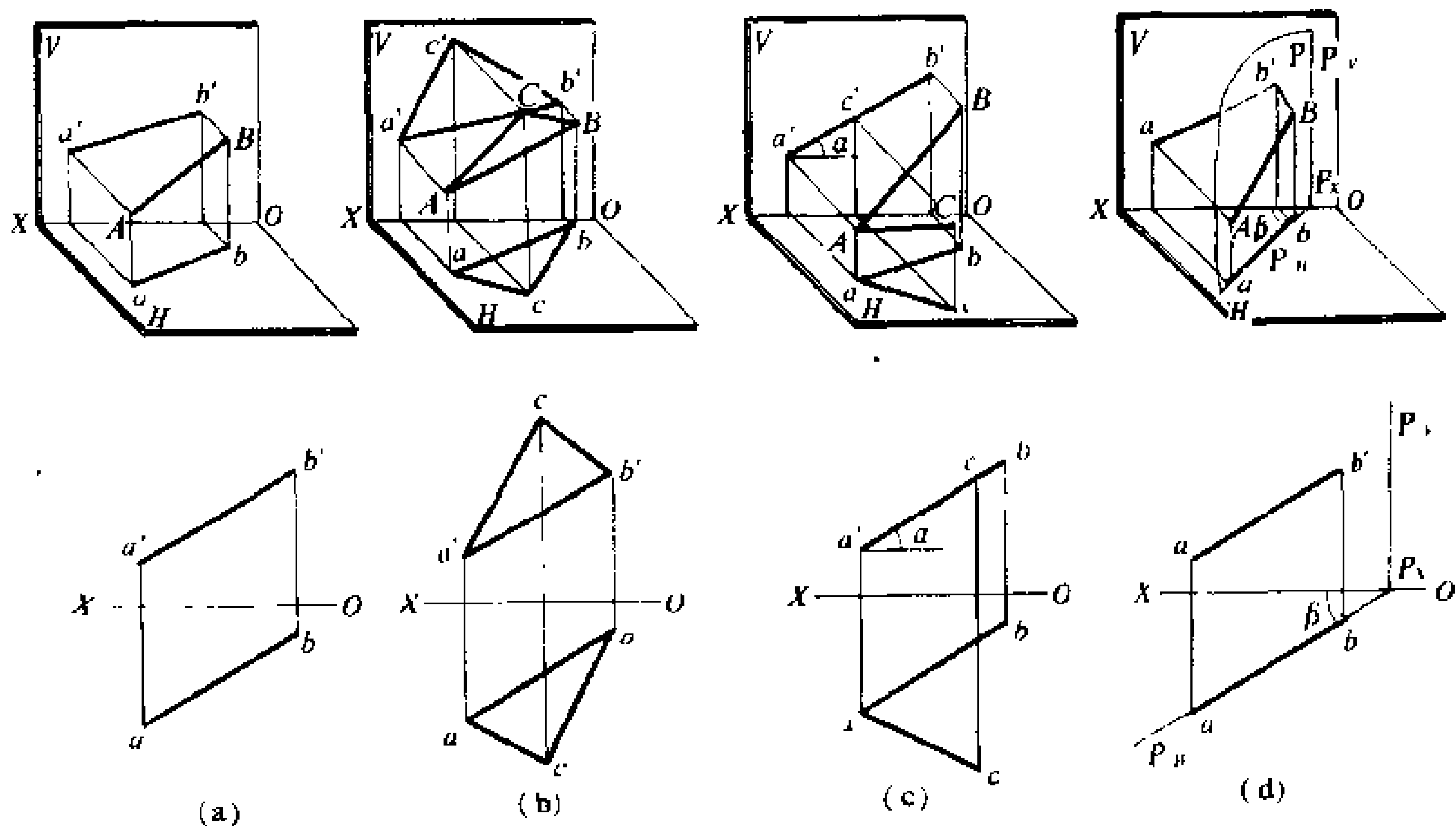


图 2-47　过直线作平面

(1) 正面投影积聚在 P_V 上，为一直线，其长度等于圆的直径。

(2) 水平投影为椭圆，关于投影为椭圆的画法有以下两种：

1) 面上取点法如图 2-48b，AB 和 CD 为垂直相交的两直径，且 CD 平行于正面。按直线的投影特性，AB 和 CD 的水平投影应相互垂直，即 $ab \perp cd$，其交点 O 为椭圆中心。因此椭圆的长轴为 ab，且等于圆的直径；短轴为 cd 可由正面投影 $c'd'$ 作得。椭圆上其他各点可通过圆上的正垂线逐点求得，如点 Ⅰ，最后把所得各点光滑连接。

2) 长短轴作图法如图 2-48c，用以上方法求得长、短轴 ab 和 cd 后，再按第 1 章椭圆作法求得。

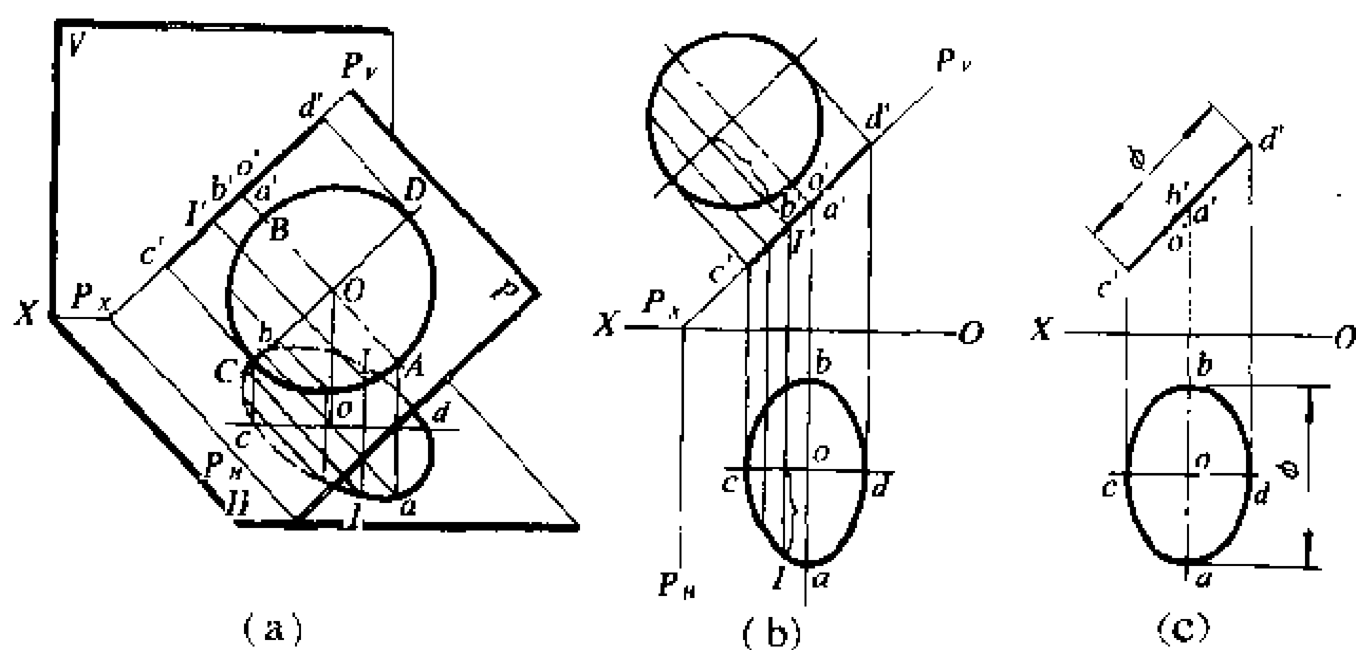


图 2-48　正垂面上的圆的投影

当圆所在的平面为铅垂面或侧垂面时，作图方法和投影特性列于表 2-6。

表 2-6　垂直面上圆的投影特性

名　　称	铅垂面上的圆	侧垂面上的圆
立体图		
投影图		
圆的投影特性	(1) 水平投影积聚为一直线，且与 P_H 重合； (2) 正面投影为一椭圆； (3) 长轴为铅垂线，短轴为水平线。	(1) 侧面投影积聚为一直线，且与 P_W 重合； (2) 正面投影和水平投影为椭圆； (3) 长轴为侧垂线，短轴为侧平线。

2.5　直线、平面之间的相对位置

在空间，直线与平面、平面与平面的相对位置有平行、相交、垂直三种，本节将着重分析这三种情况下，当其中的直线或平面的一个投影具有积聚性时的投影表示及作图方法。

2.5.1　平　行

1. 直线与平面平行

由立体几何可知，如果空间一直线与平面上任一直线平行，那么此直线与该平面平行，如图 2-49，直线 AB 平行于平面 P 上的直线 CD，那么直线 AB 与平面 P 平行；反之，如果直线 AB 与平面 P 平行，则在平面 P 上可以找到与直线 AB 平行的直线 CD。

上述原理是解决直线与平面之间平行问题的依据。

若平面的投影中有一个具有积聚性时，判别直线与平面是否平行只须看该平面有积聚性的投影与已知直线的同面投影是否平行。如图 2-50，平面 P 垂直 H 面，故 P_H 有积聚性，由于 P_H 平行 AB 的同面投影 ab，所以直线 AB 平行于平面 P。

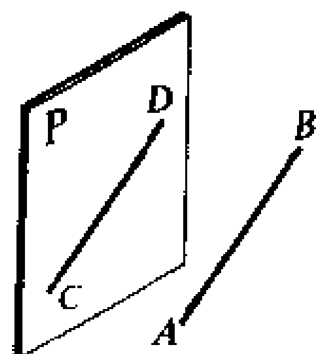
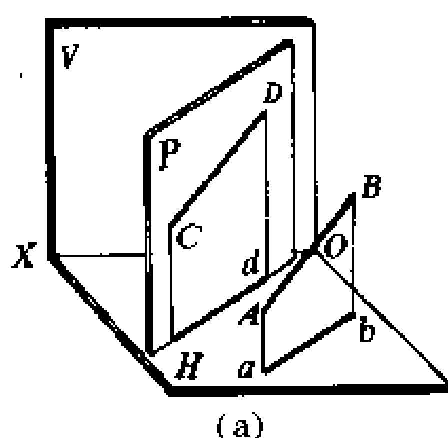


图 2-49 直线平行平面



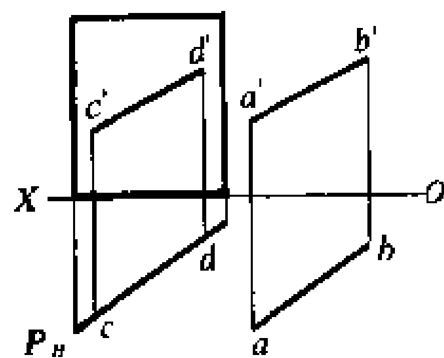
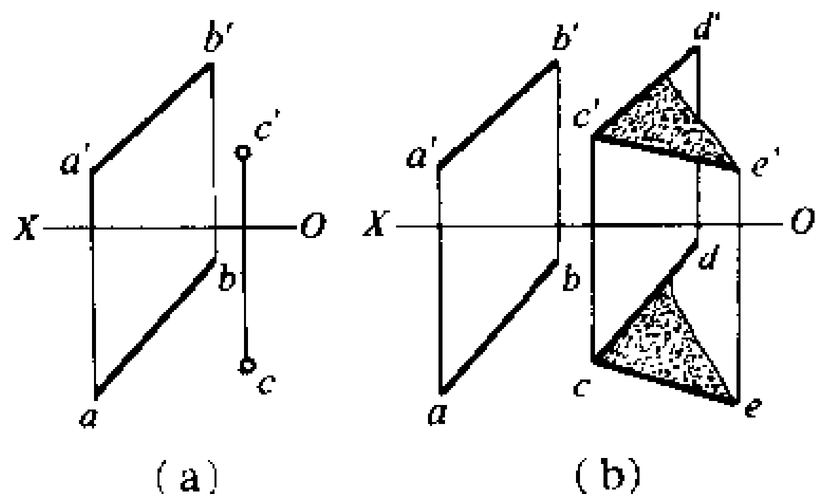


图 2-50 判别直线与平面平行

例 2-10 过点 C 作平面平行于已知直线 AB。

如图 2-51b，过点 C 作 $CD \parallel AB$（即作 $cd \parallel ab, c'd' \parallel a'b'$），再过点 C 任作一直线 CE，则 CD，CE 相交两直线决定的平面即为所求。

显然，由于直线 CE 可以任意作出，所以此题可以作无数个平面平行于已知直线。



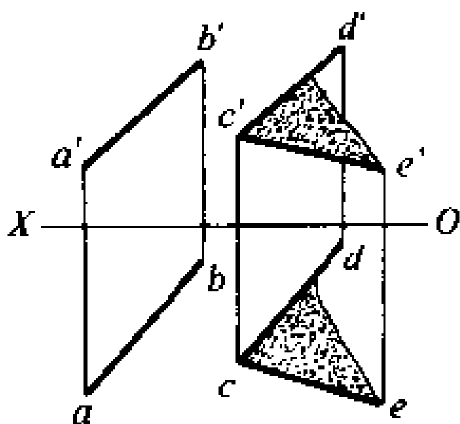


图 2-51 过点 C 作平面平行直线 AB

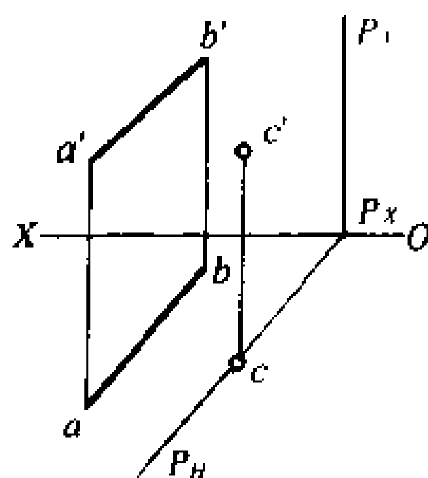
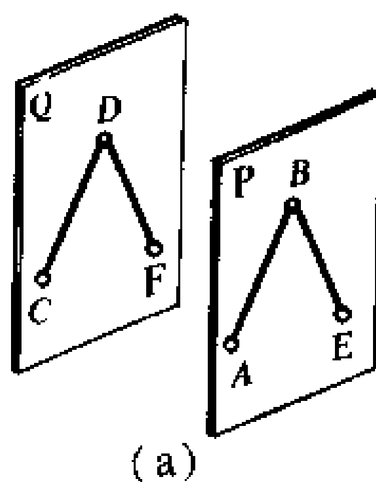


图 2-52 过点 C 作铅垂面 P 平行直线 AB

又若过点 C 作一铅垂面 P 平行于已知直线 AB，那么只能作出一个平面，即过 C 作 P_H 平行于 ab，过 P_X 作 P_V 垂直于 OX 轴上，如图 2-52。

2. 平面与平面平行

由立体几何可知，如果一平面上相交两直线对应地平行于另一平面上相交两直线，那么该两平面互相平行。



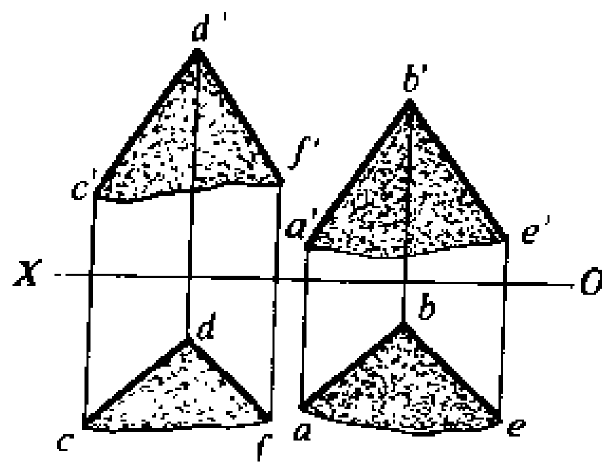


图 2-53 平面与平面平行

如图 2-53 所示，平面 P 上有一对相交直线 AB，BE 与平面 Q 上一对相交直线 CD，DF 对应地

平行，即 $AB \parallel CD$，$BE \parallel DF$，那么平面 P 与平面 Q 平行。

如图2-54，已知平面 $ABCD$ 和 EGF 是两铅垂面，若它们的水平投影 $abcd \parallel egf$，则该两平面在空间也互相平行。按照立体几何原理，可证得两平行平面若同时垂直于一投影平面，则两平行平面在该投影面上的投影亦互相平行。

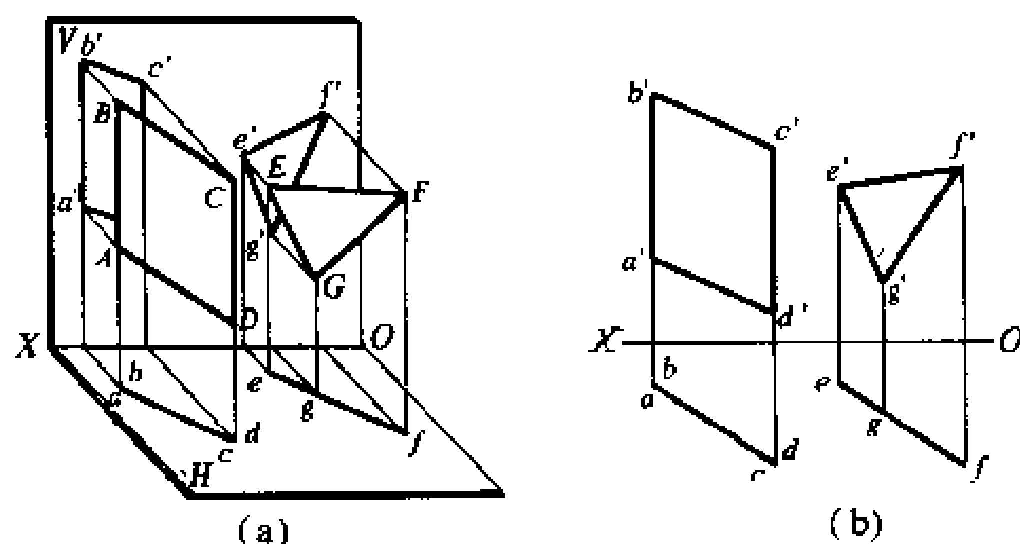


图 2-54　两铅垂面相互平行

若两平行平面与第三个平面相交，则它们的交线也互相平行。因此，当两平行平面用迹线表示时，它们的同面迹线互相平行，如图 2-55。

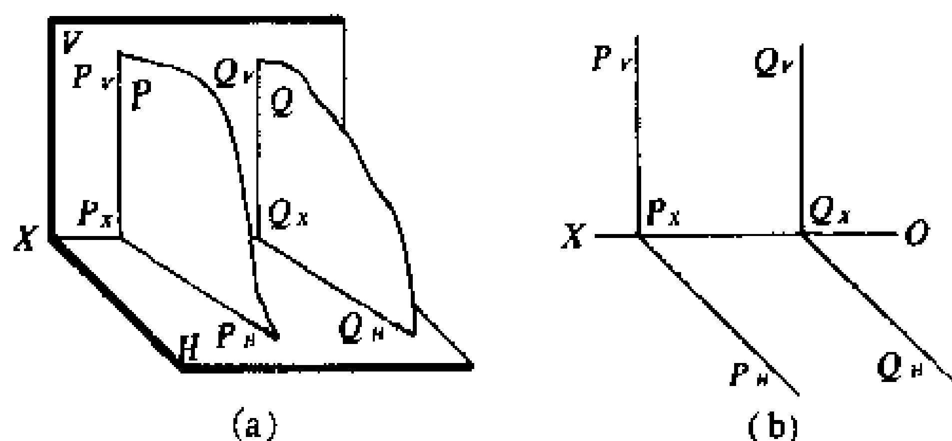


图 2-55　两迹线平面相互平行

2.5.2　相　交

1. 直线与平面相交

直线与平面相交必有一交点，该点是直线和平面的共有点，它既在直线上又在平面上。当相交的直线和平面中有一处于垂直某一投影面时，则可利用其投影的积聚性，在投影图上直接求得交点。

例 2-11　求直线 AB 与铅垂面 P 的交点。

分析

如图 2-56a，设直线 AB 与铅垂面 $CDEF$ 相交于 K 点，根据平面投影的积聚性及直线上的点的投影特性，可作得交点的水平投影 k 必在平面的水平投影 $cdef$ 和 ab 的交点上，由此可在直线上求出交点 K 的正面投影 k'。

作图

(1) 在水平投影上，标出 ab 与 $cdef$ 的交点 k；

(2) 由 k 作 OX 轴的垂线，与 $a'b'$ 交于点 k'，则 $K(k,k')$ 为所求点；

(3) 判别可见性：设平面为不透明，水平投影时，由上向下凡位于平面之上的线段为可见，位于平面之下的线段被平面遮住不可见；同样，正面投影时，由前向后凡位于平面之前的线段为可见，位于平面之后的线段被平面遮住为不可见。可见线段画成实线，不可见线段画成虚线，交点是可见性的分界点。

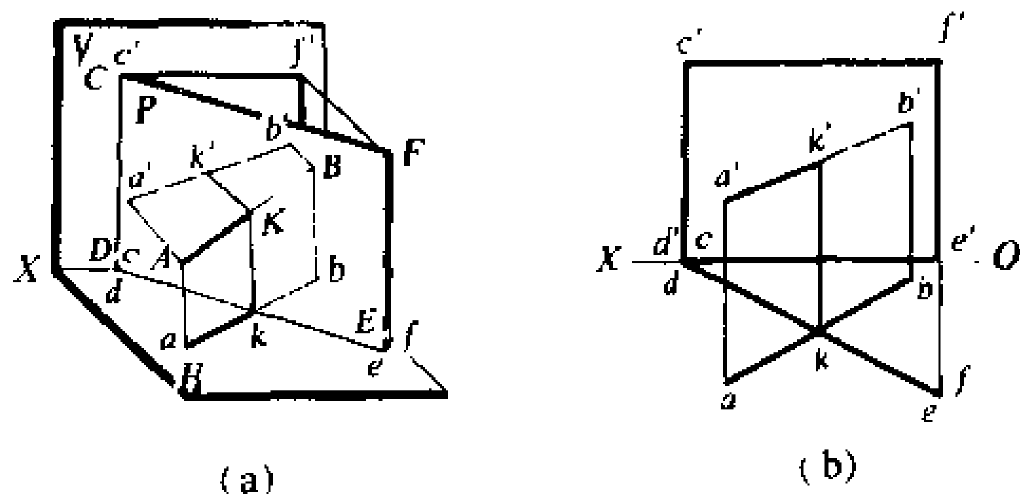


图 2-56 一般位置直线与铅垂面的交点求法

在图 2-56b 中的正面投影，矩形 $c'd'e'f'$ 平面之内有线段 $a'k'$ 和 $k'b'$，观察水平投影可知线段 ak 在平面之前，线段 kb 在平面之后。因此 AK 的正面投影 $a'k'$ 为可见，画成实线；KB 的正面投影 $k'b'$ 为不可见，画成虚线。

由于平面 $CDEF$ 是铅垂面，其水平投影积聚为一直线，所以在水平投影上就无需判别可见性。从而得出平面为垂直面时，可见性的判别规则和方法如下：

首先观察平面有积聚性的那个投影，然后看平面无积聚性的投影。凡位于平面之上或平面之前的线段，其投影是可见的；反之，为不可见的。

图 2-57 表示了直线 AB 与水平面 P 的交点 $K(k',k)$ 的作法（如图中箭头所示），因为 AK 位于 P 面之上，所以水平投影中 ak 为可见，画成实线，kb 为不可见，画成虚线。

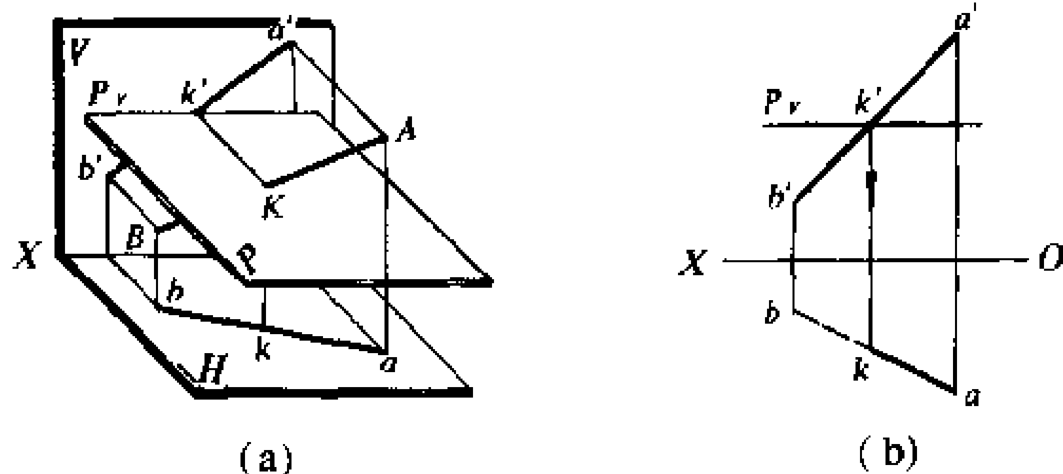


图 2-57 直线与水平面的交点求法

例 2-12 求铅垂线 AB 与平面 CDE 的交点。

分析

如图 2-58，设平面 CDE 与铅垂线 AB 相交于 K 点，根据直线的积聚性即可确定其交点的水平投影 k，再利用 CDE 上取点的方法，在 $a'b'$ 上作出正面投影 k'。

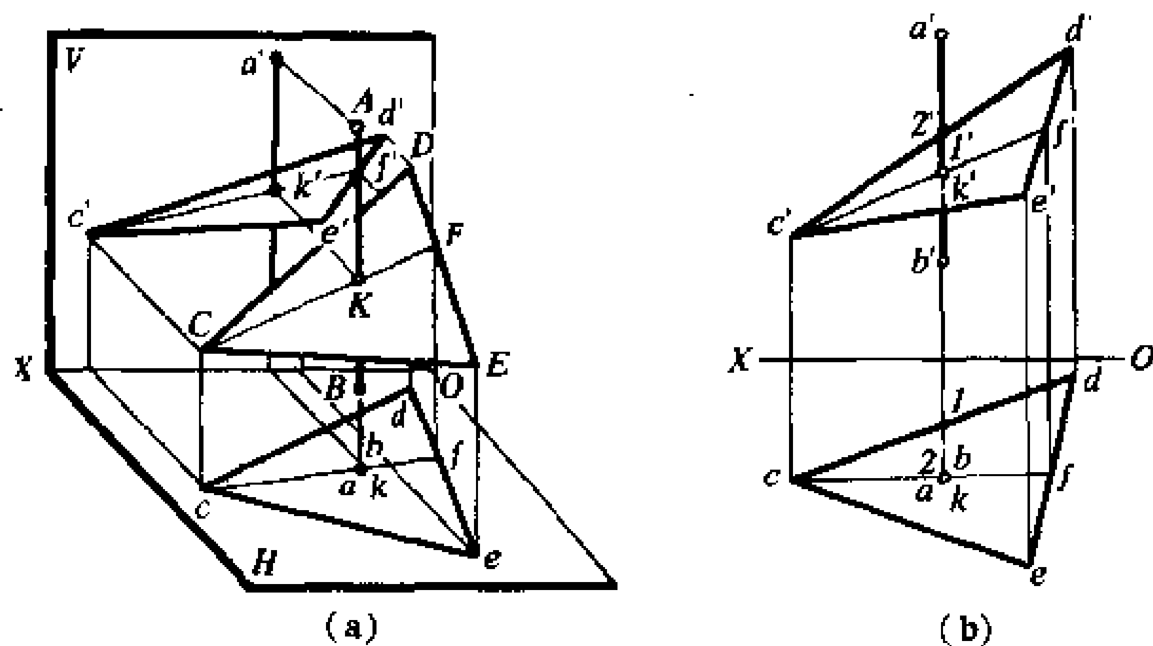


图 2-58 铅垂线与平面的交点求法

作图

(1) 在 ab 上标出点 k；

(2) 在平面CDE上过K点任作一辅助直线，例如CK，连接ck并延长与ed交于点f，再作CF的正面投影$c'f'$；

(3) $c'f'$ 与 $a'b'$ 的交点 k'，即为所求交点 K 的正面投影；

(4) 判别可见性：在水平投影中，由于直线 AB 是铅垂线，其投影积聚为一点。因此不必判别其可见性。而在正面投影中，按重影点判别方法如图 2-58b 所示，$2'k'$ 为可见。亦可用以下方法：由于平面CDE的两个投影的标记顺序同向(cde，$c'd'e'$ 都为顺时针)，所以k'点以上的线段为可见，画成实线，另一段为不可见，画成虚线。

从上例得出直线为垂直线时，可见性的判别规则和方法如下：

如果平面图形的标记顺序是同向的，则离开投影轴远的那段直线为可见；如果平面图形的标记顺序不同向，则离开投影轴近的那段直线为可见。

2. 平面与平面相交

空间两平面若不平行就必定相交。相交两平面的交线是一条直线，该交线为两平面的共有线，交线上的每个点都是两平面的共有点。当求作交线时，只要求出两个共有点或一个共有点以及交线的方向即可。若相交两平面之一为垂直面或平行面时，则可利用该平面有积聚性的投影求得交线。

例 2-13 求平面 ABC 与铅垂面 $DEFG$ 的交线，如图 2-59。

分析

因为铅垂面 $DEFG$ 的水平投影 $defg$ 有积聚性，按交线的性质，铅垂面与平面 ABC 的交线的水平投影必在 $defg$ 上，同时又应在平面 ABC 的水平投影上，因而可确定交线 KL 的水平投影 kl，进面求得 $k'l'$。

作图

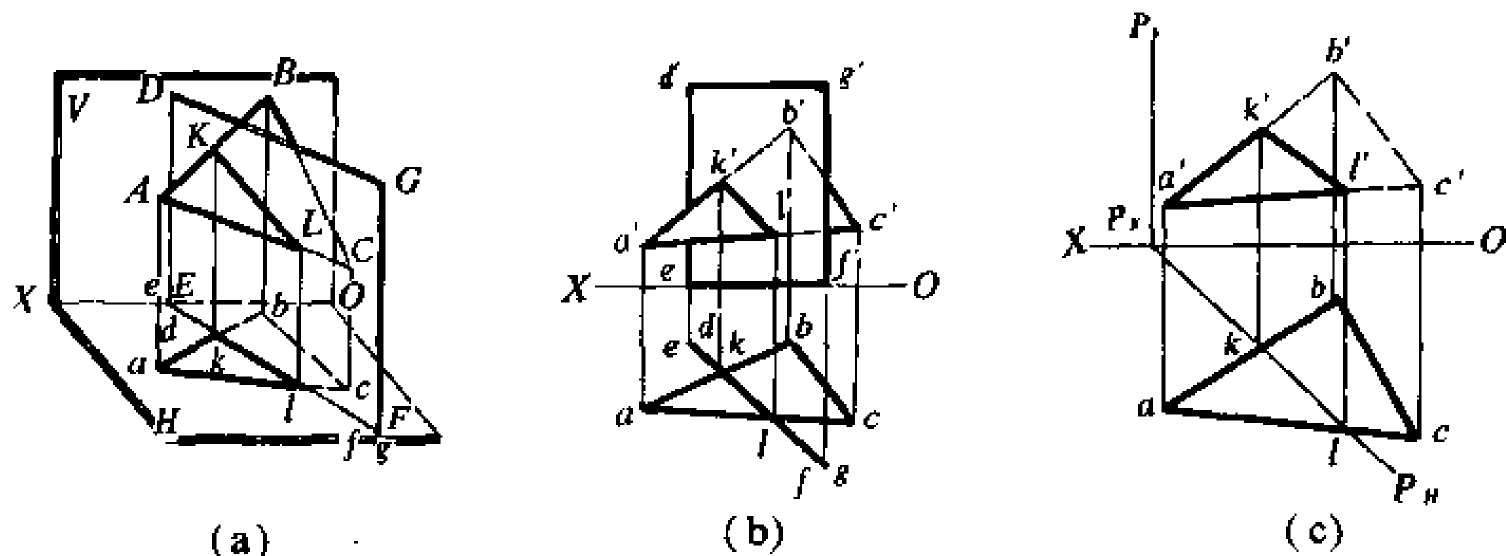


图 2-59 平面与铅垂面的交线求法

(1) 如图 2-59b，在水平投影中，确定 $defg$ 与 ab 和 ac 的交点 k 和 l；

(2) 作为平面 ABC 上的点 K 和 L，求得 k' 和 l'，连接 $k'l'$；

(3) 判别可见性，按前节求交点，对直线判别的方法。

若铅垂面改用迹线平面表示时，其作法与上述相同，如图 2-59c。

2.5.3 垂 直

本节只介绍平面都为垂直面时的直线与平面或平面与平面垂直的投影特性。

1. 直线与平面垂直

例 2-14 已知一铅垂面 $ABCD$，试过平面外一点 M 作一直线与该平面垂直相交。

分析

由图 2-60 可知，因为平面 $ABCD$ 垂直于 H 面，所以垂直于平面 $ABCD$ 的直线必定为水平线，

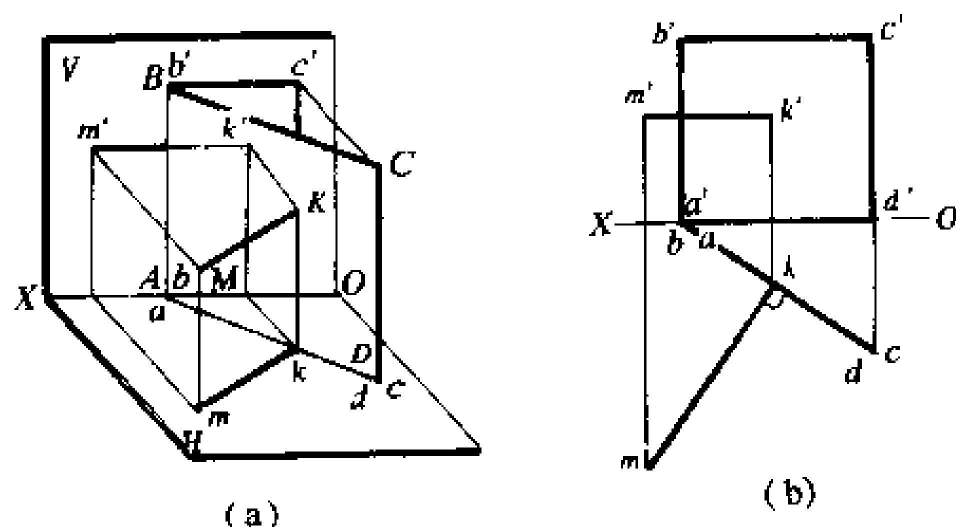


图 2-60　直线垂直于铅垂面

作图

(1) 如图 2-60b，过 m 作 $abcd$ 的垂直线得交点 k；

(2) 过 m' 作 OX 轴的平行线，与过 k 的投影线相交于 k'；

(3) $MK(mk, m'k')$ 即为所求直线。

同理，正垂面的垂直线和侧垂面的垂直线的投影特性列于表 2-7。

表 2-7　垂直于垂直面的直线投影特性

名　称	投影图	
	几何元素平面	迹线平面
正垂面的垂直线		
投影特性	(1) 正面投影：直线的投影垂直于具有积聚性平面的投影； (2) 水平投影：直线的投影平行于 OX 轴。	
侧垂面的垂直线		
投影特性	(1) 侧面投影：直线的投影垂直于具有积聚性平面的投影； (2) 正面投影和水平投影：直线的投影均垂直于 OX 轴。	

2. 两平面垂直

由立体几何可知，如果直线垂直于已知平面，则包含此垂线所作的平面必垂直于已知平面。如图 2-61a 所示，*ABCD* 为一已知铅垂面，*MK* 为垂直于此平面的直线，显然 *MK* 为水平线，且凡是包含直线 *MK* 的平面均垂直于平面 *ABCD*。根据过直线作平面的原理，过 *M* 点引直线 *MN*，并使 *MN* 的水平投影 *mn* 与 *MK* 的水平投影 *mk* 重影，则 *KMN* 的平面亦为铅垂面。其投影图作法如图 2-61b，两平面的水平投影成直角相交，所以交线 *NK* 为铅垂线。

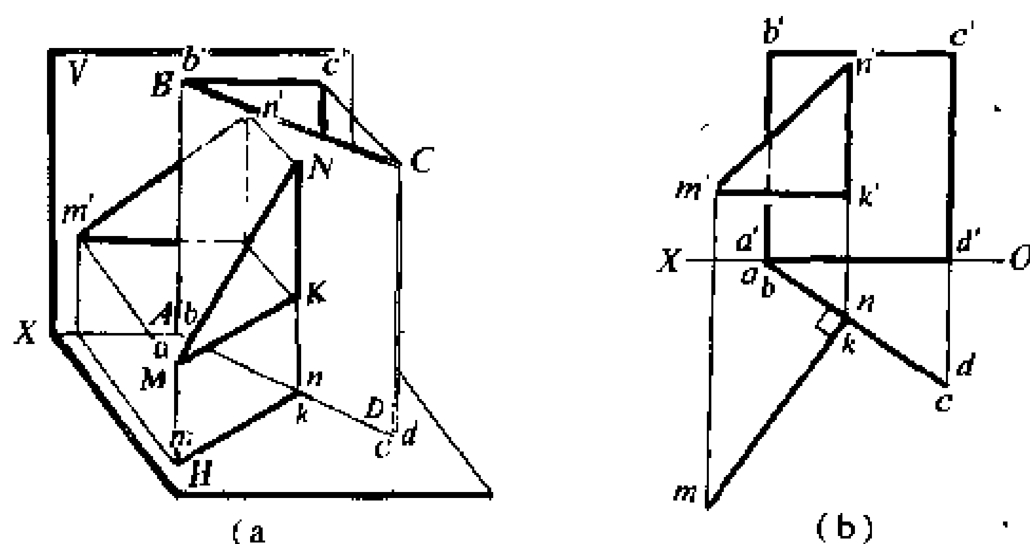


图 2-61　两垂直相交的铅垂面

同样地，两正垂面垂直相交和两侧垂面垂直相交的投影特性列于表 2-8。

表 2-8　两垂直面成垂直相交的投影特性

名　称	投　影　图	
	几何元素平面	迹线平面
两正垂面的垂直相交		
投影特性	(1) 正面投影：两平面积聚为直线且垂直相交； (2) 水平投影：交线的投影垂直于 *OX* 轴。	
两侧垂面的垂直相交		
投影特性	(1) 侧面投影：两平面积聚为直线且垂直相交； (2) 正面投影和水平投影：交线的投影都平行于 *OX* 轴。	

2.6 投影变换

当空间几何元素与投影面处于特殊位置(即平行、垂直)时,则空间几何元素的图示、图解,如求直线实长、平面实形、直线和平面对投影面的倾角、直线与平面的交点、平面与平面的交线等等,就大为简便。

在给定的投影图中,设想变换空间几何元素对投影面的相对位置,使其由一般位置转变为特殊位置,达到有利于解题的目的。这种变换空间几何元素与投影面相对位置的方法,称为投影变换。

投影变换的方法较多,有换面法、旋转法、重合法和辅助投影法等。本节介绍换面法。

2.6.1 换面法概述

在给定的投影图中,空间几何元素的位置保持不动,用新的投影面替换原有的投影面,使空间几何元素相对于新投影面处于特殊位置,达到有利于解题的目的。这就是变换投影面法,简称换面法。

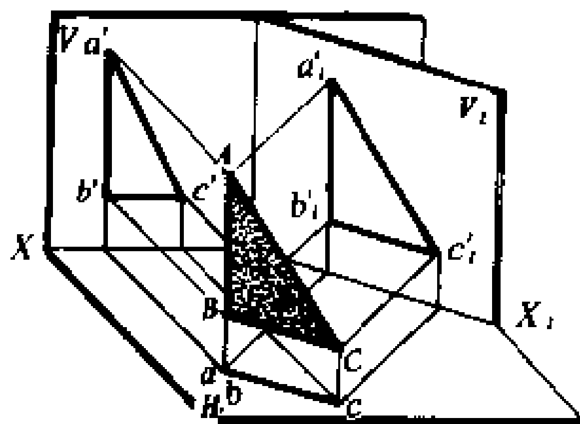


图 2-62 换面法

如图 2-62 所示,平面 ABC 在原来 V/H 投影体系中是一铅垂面,它在两个投影面上的投影都不反映实形。现用与平面 ABC 平行且与 H 面垂直的 V_1 面作为新的投影面,用它来变换原来的 V 面,从而建立了新的 V_1/H 投影体系。在 V_1/H 投影体系中,平面 ABC 是 V_1 面的平行面,所以平面 ABC 在 V_1 面上的投影 $a'_1b'_1c'_1$ 就反映该平面的实形。

换面法中,首先要解决的问题是如何选择新的投影面。所选择的新投影面必须符合以下几个条件:

(1) 新投影面必须垂直原有的一个投影面,只有这样,才能建立起新的、互相垂直的两投影面体系,才能应用正投影法,且符合投影的规律。

(2) 新投影面必须与空间几何元素处于有利解题的位置。

2.6.2 点的投影变换

由于点是线、面、体的基本元素,因此掌握点的换面法的投影规律和作图方法是学习换面法的基础。

1. 点的一次换面

如图 2-63a 所示,已知点 A 在 V/H 投影体系中的投影 a,a';若以 V_1 面变换 V 面,则点 A 在新的 V_1/H 投影体系中的投影为 a,a'_1。现分析投影 a,a' 和 a'_1 的关系。

新投影面 V_1 垂直于 H 面,它与 H 面相交于 O_1X_1,O_1X_1 即为新的投影轴。根据正投影原理,在 V_1/H 两投影面体系中,a 与 a'_1 的连线垂直于新投影轴 O_1X_1,投影 a'_1 到 O_1X_1 轴的距离等于空间点 A 到 H 的距离,同时也等于 a' 到 OX 轴的距离,即 $a'_1a_{X1} = a'a_X = Aa$。由此可以得出点在换面法的变换规律:

(1) 在新的投影体系中,点的两个投影连线 aa'_1 是垂直于新投影轴 O_1X_1。

(2) 点的新投影到新投影轴的距离等于被变换的投影到原投影轴的距离。

根据以上规律,点在一次换面法中的作图步骤如下:

1) 选择新的投影面,画出新的投影轴 O_1X_1;

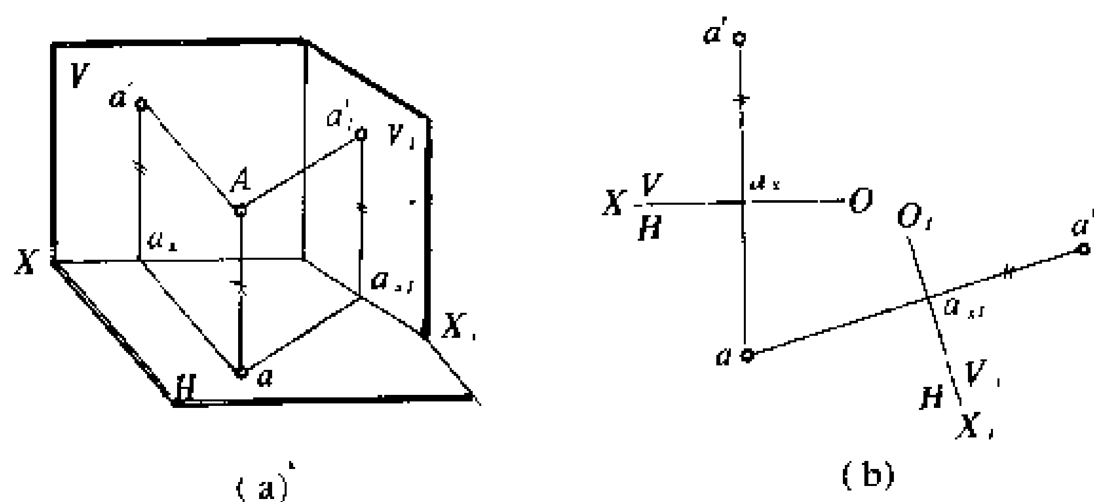


图 2-63　点的一次换面($V/H \rightarrow V_1/H$)

2）过 a 作新投影轴 O_1X_1 的垂线；

3）在垂线上截取 $a'_1a_{X1} = a'a_X$，即得点 A 在 V_1 面上的新投影 a'_1。

若变换 H 面，用 H_1 来替换原来的 H 面，从而建立新的 V/H_1 投影体系时，点的变换作图与上述类似。如图 2-64，其中 $a'a_1 \perp O_1X_1$，$a_1a_{X_1} = aa_X = Aa'$。

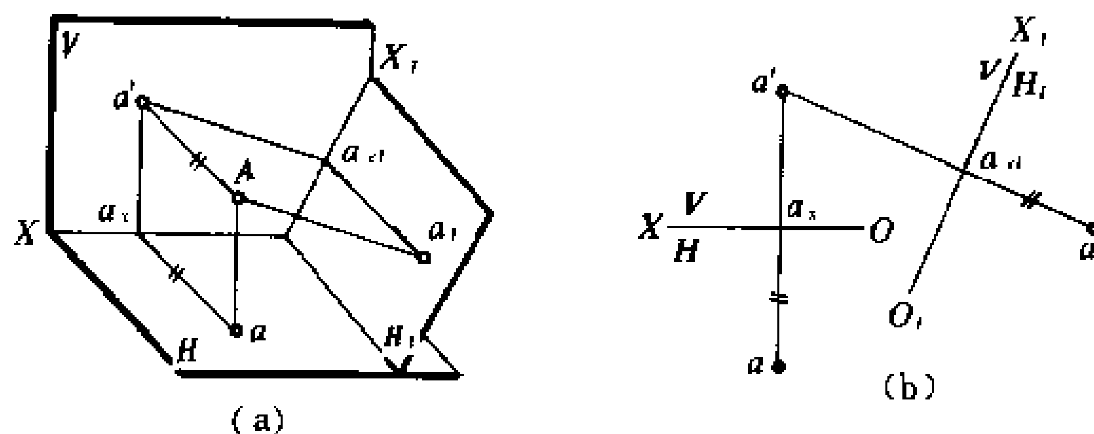


图 2-64　点的一次换面($V/H \rightarrow V/H_1$)

2. 点的两次换面

有些问题需要经过两次或两次以上的换面，才能获得解答。为此先讨论点的两次换面作图方法。

在上述第一次换面(由 V/H 变换为 V_1/H 或 V/H_1)的基础上，继续进行第二次换面，这就是两次换面法。两次换面的原理和作图与一次换面类似，但必须注意，投影面的变换要交替进行，即以 $V/H \rightarrow V_1/H \rightarrow V_1/H_2$ 顺序变换，或以 $V/H \rightarrow V/H_1 \rightarrow V_2/H_1$ 顺序变换。

在投影图中，点的两次换面法作图步骤如图 2-65 所示：

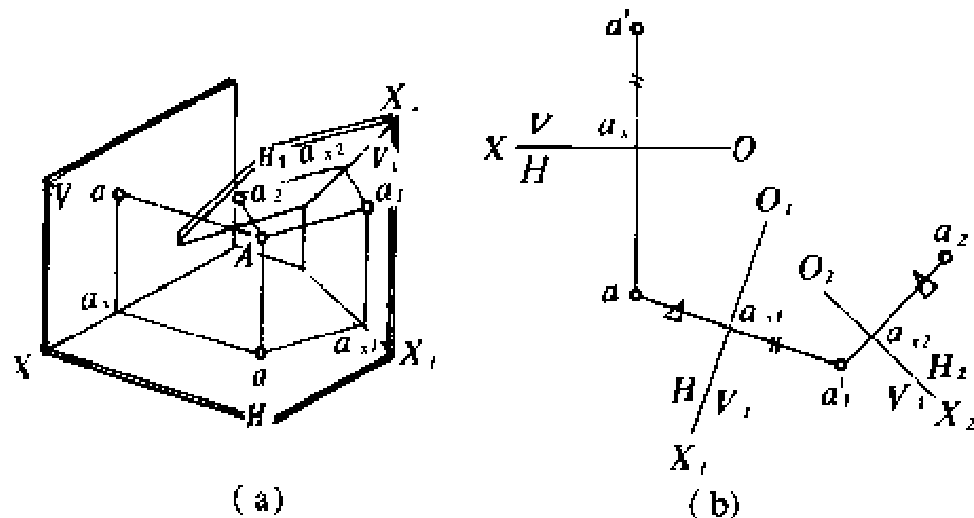


图 2-65　点的两次换面($V/H \rightarrow V_1/H \rightarrow V_1/H_2$)

(1) 作 O_1X_1 轴，以 V_1 面替换 V 面，即由 $V/H \rightarrow V_1/H$ 的第一次换面，求得在 V_1 面上的投影

a'_1($aa'_1 \perp O_1X_1$;$a'_1a_{X1} = a'\ a_X$)。

(2) 作 O_2X_2 轴，以 H_2 面替换 H 面，即由 $V_1/H \to V_1/H_2$ 的第二次换面，求得在 H_2 面上的投影 a_2($a'_1a_2 \perp O_2X_2$;$a_2a_{X2} = aa_{X1}$)。

在两次换面时，也可先变换 H 面，后变换 V 面，即以 $V/H \to V/H_1 \to V_2/H_1$ 的顺序进行换面。作图方法请读者思考，并完成其作图。

显然，如果有必要，这种换面作图还可连续三次、四次 …… 地进行下去，但工程实际中一般不需超过三次，而通常应用较多的是一次或两次换面。

2.6.3 换面法的基本作图方法

应用换面法解题时，基本作图方法可归纳成以下四种。

1. 将一般位置的直线换面成平行线

一般位置的直线经过一次换面能使其成为新投影面的平行线，只要选择一个既与已知直线平行，又与原来一个投影面垂直的新的投影面就可实现这种换面。如图 2-66，新投影面 V_1 与 AB 平行，又垂直于 H 面，以这样的 V_1 面替换 V 面，建立的新的 V_1/H 投影体系，直线 AB 就成为 V_1 面的平行线，在 V_1 面上的投影为 $a'_1b'_1$。其具体作图步骤如下：

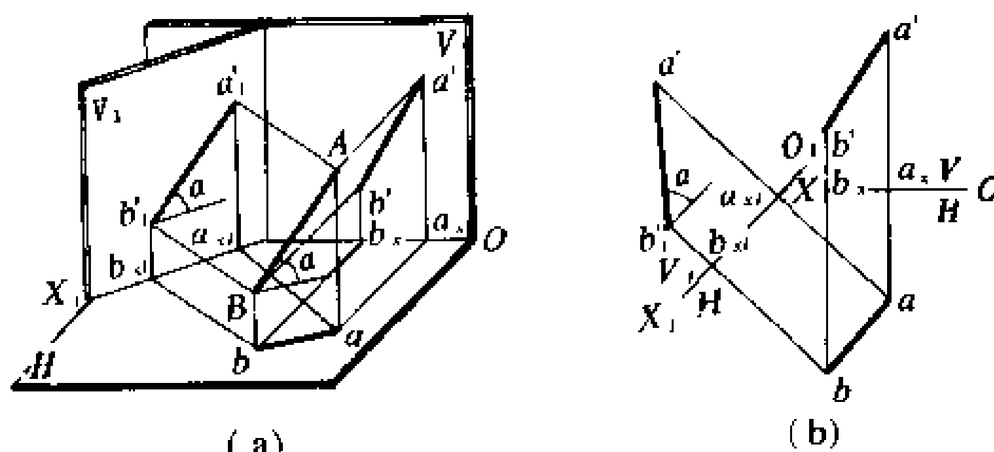


图 2-66 一般位置直线换面成平行线

(1) 作投影轴 O_1X_1，O_1X_1 必须平行于直线 AB 的水平投影 ab，即 $O_1X_1 \parallel ab$，注意此投影轴与 ab 的距离可任意选择，与解题无关；

(2) 将直线的两端点 A,B 进行变换，可作得投影 a'_1,b'_1；

(3) 连接 $a'_1b'_1$，即为直线 AB 在 V_1 面上的新投影。

由直线的投影特性可知，经过上述一次变换，可以使一般位置直线换面成新投影面的平行线，即能求得直线 AB 的实长(反映在 $a'_1b'_1$ 上) 以及直线 AB 对 H 面的倾角 α(反映在 $a'_1b'_1$ 与 O_1X_1 的夹角)。

2. 将平行线换面成垂直线

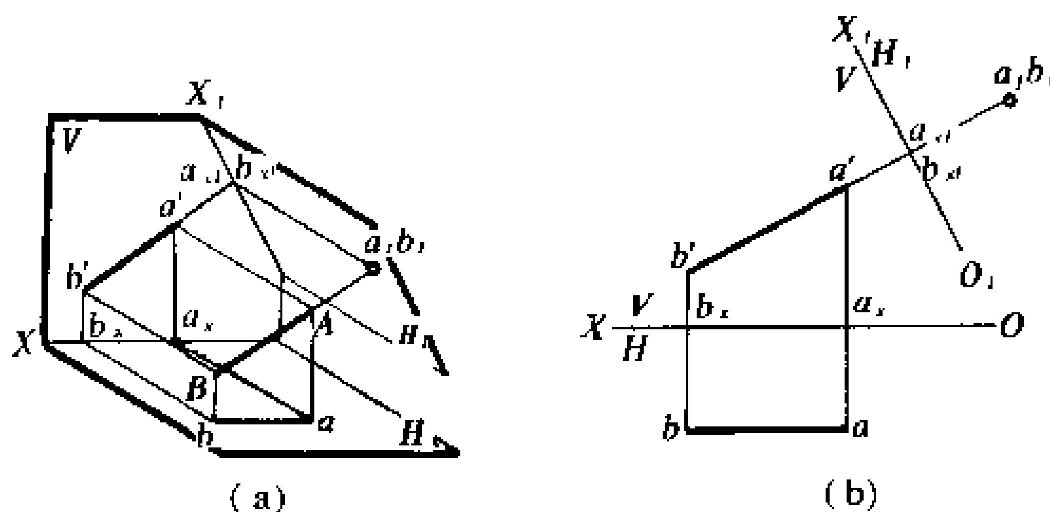


图 2-67 平行线换面成垂直线

平行线经过一次换面能使其成为新投影面的垂直线，只要选择一个与已知平行线相垂直的新投影面即可。如图 2-67a，表示变换的空间过程，因为直线 AB 平行于 V 面，若使 H_1 面垂直

于直线 AB，则 H_1 必垂直于 V 面。在 V/H_1 的投影体系中，直线 AB 即成为 H_1 面的垂直线，所以直线 AB 在 H_1 面上的投影积聚成为一点，同时新投影轴 O_1X_1 必垂直于 $a'b'$。作图方法见图 2-67b。

3. 将一般位置平面换面成垂直面

由立体几何可知，如要使图 2-68 中 V_1 垂直于平面 ABC，只须使 V_1 面垂直于平面 ABC 上任一直线即可。但换面法还要求 V_1 面垂直于 H 面，所以平面 ABC 上所取直线必须为水平线 AD。由此可知，要使一般位置平面一次换面成垂直面，就要选择一个新投影面，使其垂直于已知平面上的水平线（或正平线）即可达到目的。

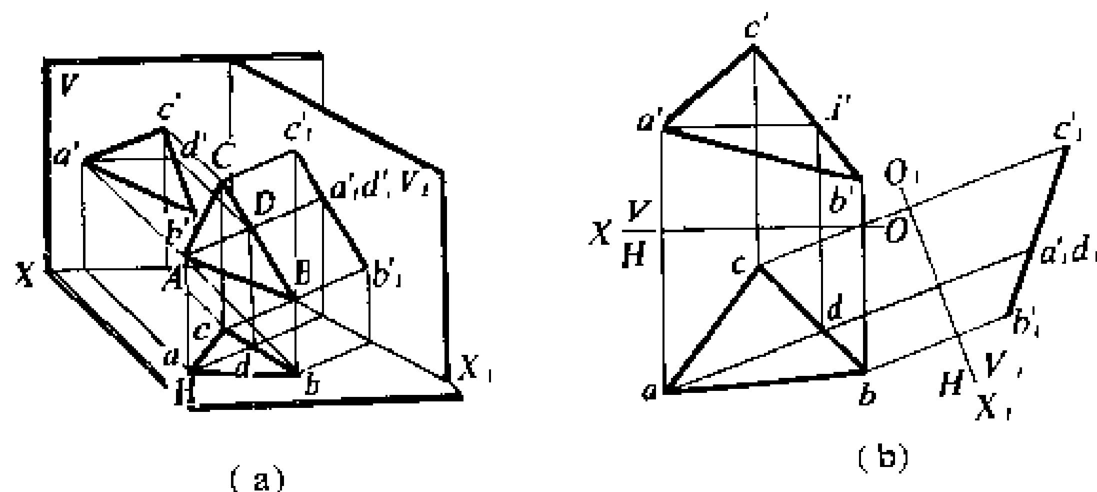


图 2-68　一般位置平面换面成垂直面

图 2-68b 中平面 ABC 经过一次换面后成为垂直面，具体作图步骤如下：

(1) 作辅助水平线 $AD(a'd', ad)$；

(2) 作投影轴 O_1X_1，使垂直于 ad，求得新投影面上的投影 a'_1，b'_1，c'_1 及 d'_1，它们成为一直线，即在 V_1/H 投影体系中平面 ABC 为垂直面。

4. 将垂直面换面成平行面

要使垂直面一次换面成平行面，应该选择一个既平行已知平面又垂直原来的一个投影面的新投影面。由于已知平面是投影面的垂直面，所以新投影轴只要与已知平面有积聚性的投影平行，即可达到目的。如图 2-69a，已知平面 ABC 在 V/H 投影体系中为铅垂面。选择新投影面 V_1，使其平行于已知平面 ABC，即 O_1X_1 投影轴平行于 abc，这样已知平面 ABC 在 V_1/H 的新投影体系中成为 V_1 面的平行面，所以在 V_1 面上的投影 $a'_1b'_1c'_1$ 反映已知平面 ABC 的实形。作图方法参阅图 2-69b。

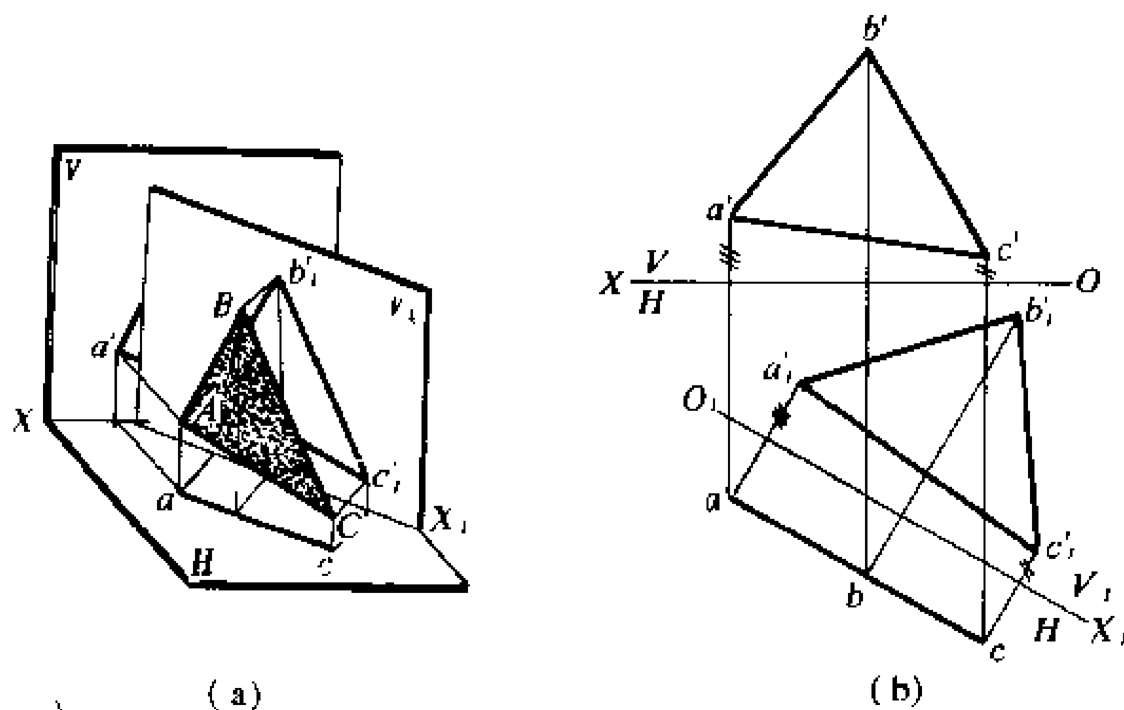


图 2-69　垂直面换面成平行面

例 2-15　试作出三角形 ABC 的外心 O 的投影（图 2-70）。

分析

三角形的外心是与三顶点 A,B,C 等距离的点。为了求作外心，必须先作出三角形的实形，然后通过作图，即可达到目的。

作图

(1) 将一般位置平面 ABC 经两次换面，求得 ABC 的实形 $a_2b_2c_2$；

(2) 在三角形 $a_2b_2c_2$ 上作出外心 O_2；

(3) 由 O_2 作出 V_1 上的投影 O'_1 以及在 V/H 投影体系中的投影 O 和 O'。

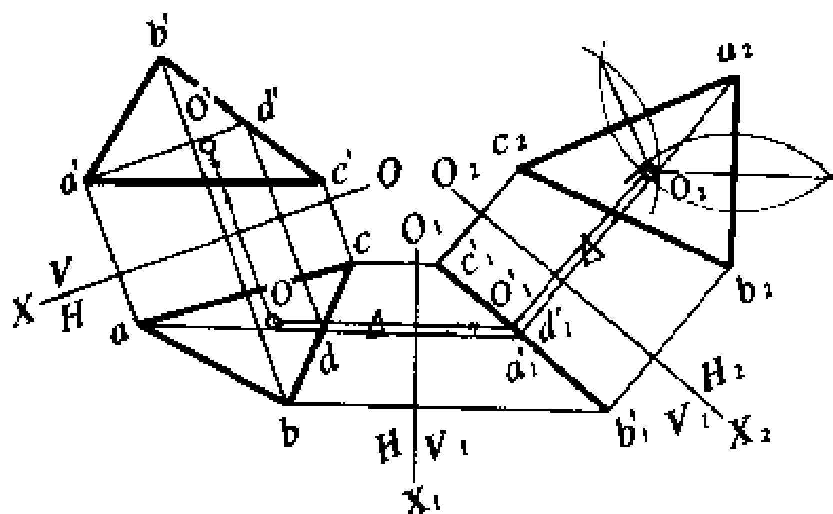


图 2-70 求平面三角形 ABC 的外心

思 考 问 题

2.1 表示空间物体的基本投影方法是什么？

2.2 试述正投影法的投影特性。

2.3 试述三面投影图的投影规律。

2.4 试述点的三面投影规律。

2.5 已知 P,Q,R 各点如下：

单位：mm

点	距离 V 面	距离 H 面	距离 W 面
P	20	15	5
Q	18	12	5
R	18	12	15

试用 P 点来说明点的直角坐标与投影的关系，如何确定点到 H,V,W 各投影面的距离。

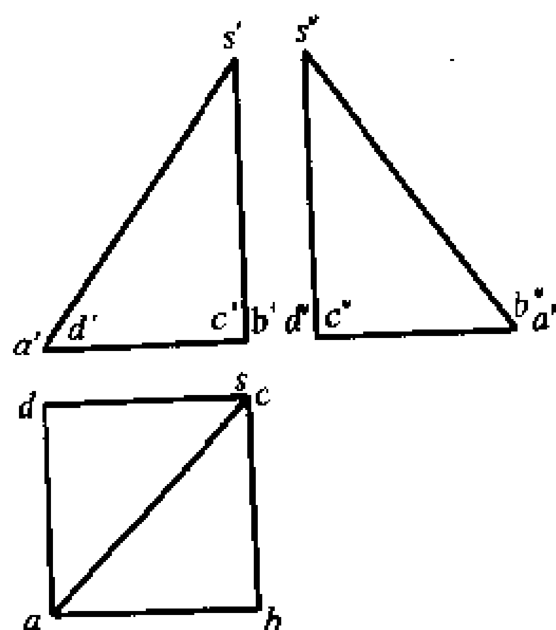
试用 R 点来说明根据点的两个投影，作出第三投影的方法。

试用 Q,R 两点来说明它们的侧面投影有什么特性。

2.6 试述空间一直线对一个投影面的位置有几种？且各有怎样的投影特性。

2.7 试述水平线和正垂线的三面投影图的投影特性，并比较两者的共同点和不同点。

2.8 已知四棱锥 $SABCD$ 的三面投影，想一下各棱线属什么位置直线（附图 2-1）。



附图 2-1

棱　　线	名　　称	棱　　线	名　　称
AB	侧垂线	AS	
BC		BS	
CD		CS	
DA		DS	

2.9　怎样求一般位置直线的实长及其对 H 面和 V 面的倾角?

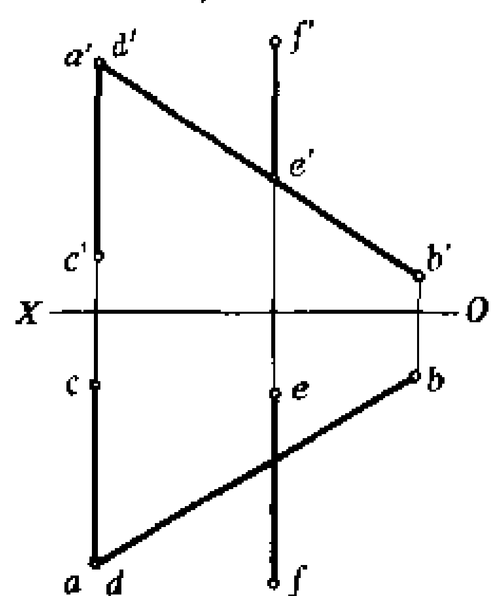
2.10　试说明两相交直线和两交叉直线的投影特性的不同点。

2.11　试判别 AB,CD,EF 三直线的相对位置(附图 2-2)。

AB 与 CD:________________

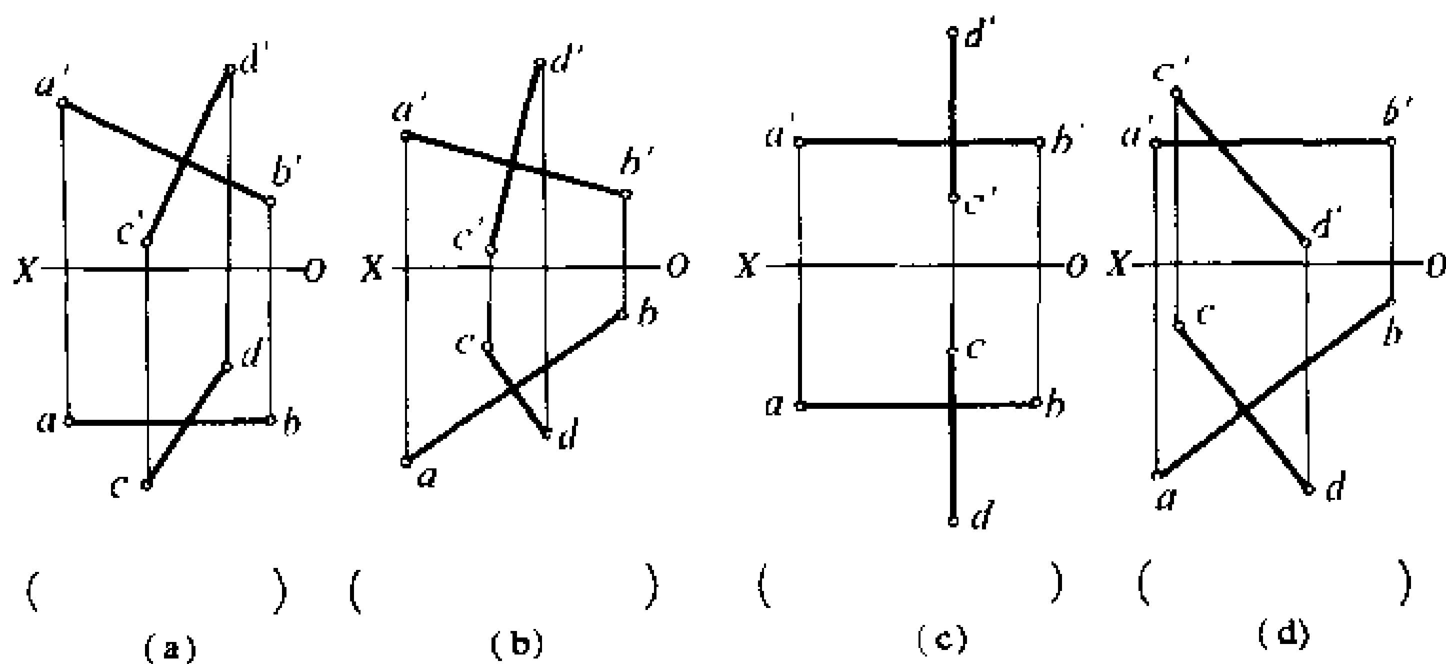
CD 与 EF:________________

EF 与 AB:________________



附图 2-2

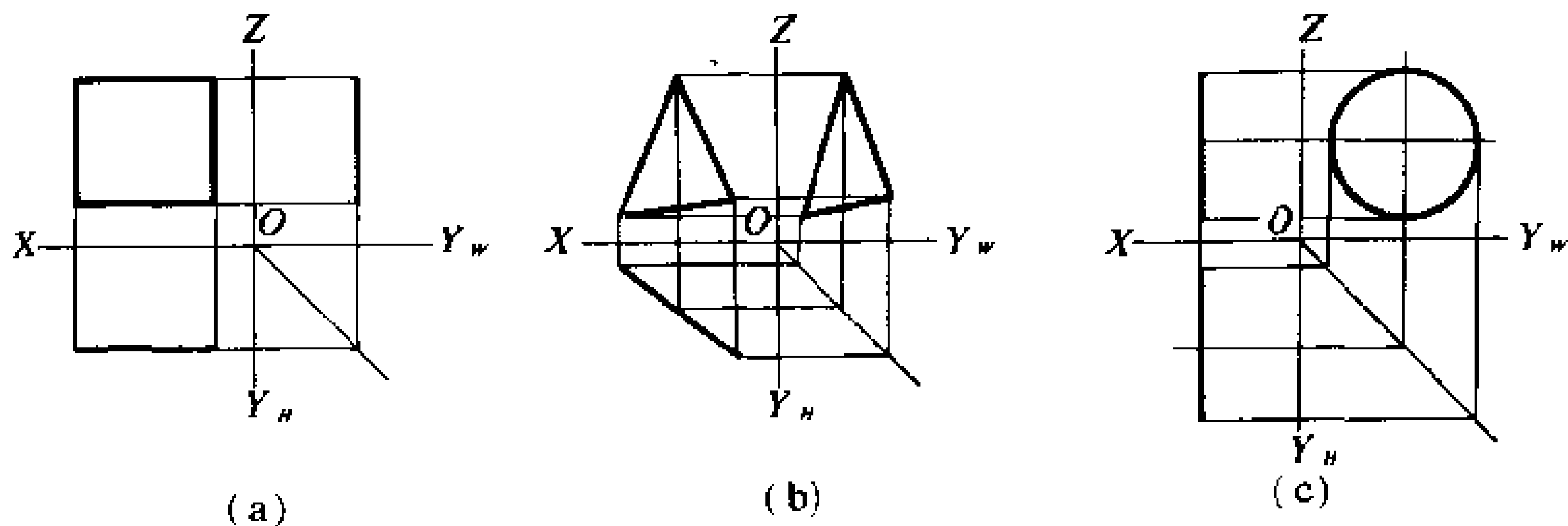
2.12　想一想下列各对直线的相对位置(相交?交叉?垂直相交?垂直交叉)(附图 2-3)。



附图 2-3

2.13　试述投影面垂直面和投影面平行面的投影特性,并比较两者的共同点和不同点。

2.14　试将下列各平面用迹线表示(附图 2-4)



附图 2-4

2.15　试在三面投影图上标出立体上四个平面(ABC、BCD、ACE、ABF)的各个投影,并填

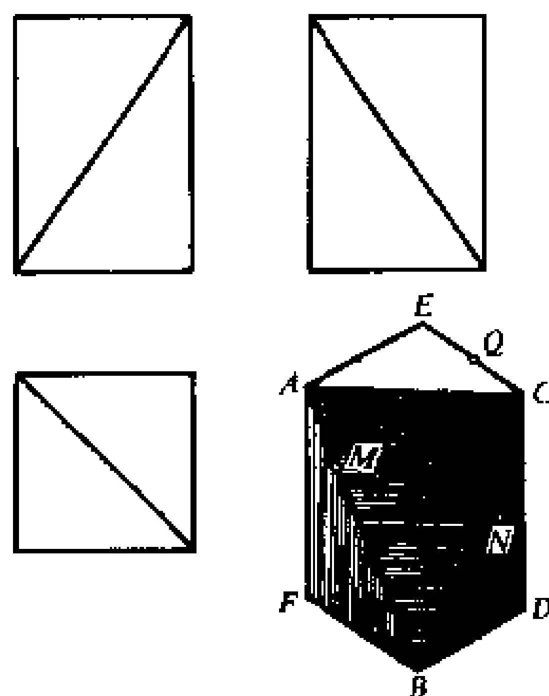
写它们各属于什么位置的平面，同时在投影图上标出 M，N，Q 各点的投影(附图 2-5)。

ABC 是________

BCD 是________

ACE 是________

ABF 是________



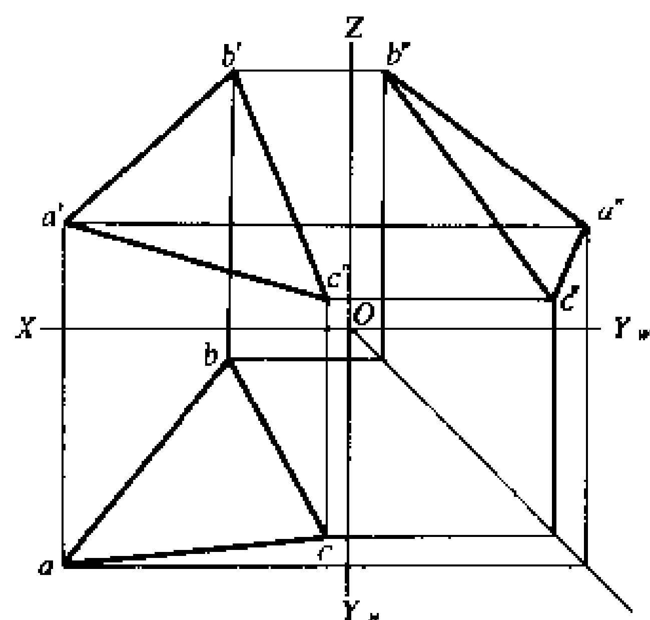
附图 2-5

2.16 在平面 ABC 上过 A 点能否作平面上的正平线？过 C 点能否作平面上的水平线(附图 2-6)？

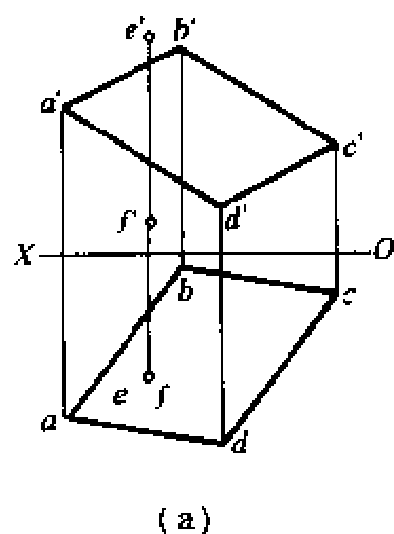
2.17 过一正平线可以作出怎样的平面？试举例作图说明。

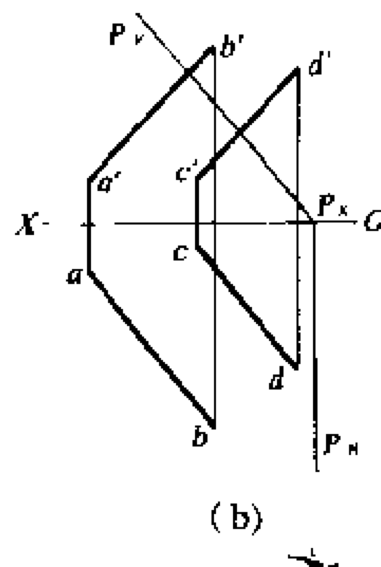
2.18 两投影面垂直面若互相平行，则在投影图上有怎样的投影特性？

2.19 试想一下为了求得直线 EF 与平面 $ABCD$ 的交点，利用什么投影特性最为简便？为了求得平面 P 与平面 $ABCD$ 的交线，利用什么投影特性最为简便(附图 2-7)？



附图 2-6





附图 2-7

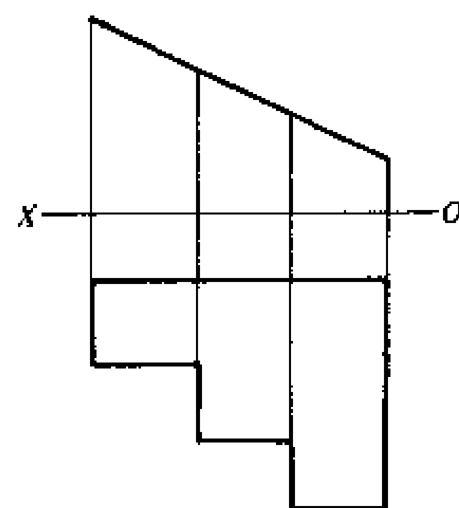
2.20 试述两垂直平面成垂直相交时的投影特性。

2.21 参阅图 2-61b，若过 M 点任作一直线，此时与直线 MK 组成怎样的平面？能否求得该平面与平面 $ABCD$ 的交线。

2.22 试述换面法中确定新投影轴的条件。

2.23 试述点的换面法的基本方法。

2.24 已知一平面图形的投影，用什么方法可以求得其实形(附图 2-8)？



附图 2-8

第3章　基本立体及其表面交线的投影

内容提要　本章介绍平面立体和回转体的投影特性及其表面取点、取线的作图方法以及截交线的投影和作图方法；平面立体与回转体以及回转体与回转体相贯线的投影和作图方法。

空间立体是由各种表面组成，按立体表面性质不同分为平面立体和曲面立体两类。从几何角度来看，表 3-1 所示的空间立体称为基本立体，基本立体的投影是表示物体的基础，必须很好掌握它们的投影特性，以及在这些基本立体表面上取点和取线的作图方法。

表 3-1　基本立体的三面投影

名　称	正六棱柱(体)	正四棱锥(体)
平面立体		
名　称	(正)圆柱(体)	(正)圆锥(体)
曲面立体		

3.1　平面立体及其表面交线的投影

因为平面立体各表面都是平面，而立体的投影由各表面投影综合而成，所以绘制平面立体的投影，就是画出一定相对位置的各个平面的投影。所要画的各个平面是由直线所组成的线框，而直线段由其两端点确定。于是平面立体的投影，又归结为各表面(平面)的交线(直线)以

及各顶点的投影。

3.1.1 棱柱体

1. 棱柱体的投影

图 3-1a 为一四棱柱体。画图前，应先分析各表面以及棱线对投影面的相对位置。它的顶面和底面是大小相同的两个水平面，左右两侧棱面为铅垂面，前后两侧棱面为正平面，四条棱线为铅垂线。作投影时，先画反映实形的顶面和底面，它们重影为四边形 *abcd*，如图 3-1b。而顶面和底面的正面投影和侧面投影均积聚成水平的直线。四条棱线的水平投影，积聚在四边形的四个顶点，它的正面投影和侧面投影为垂直的直线且反映实长。

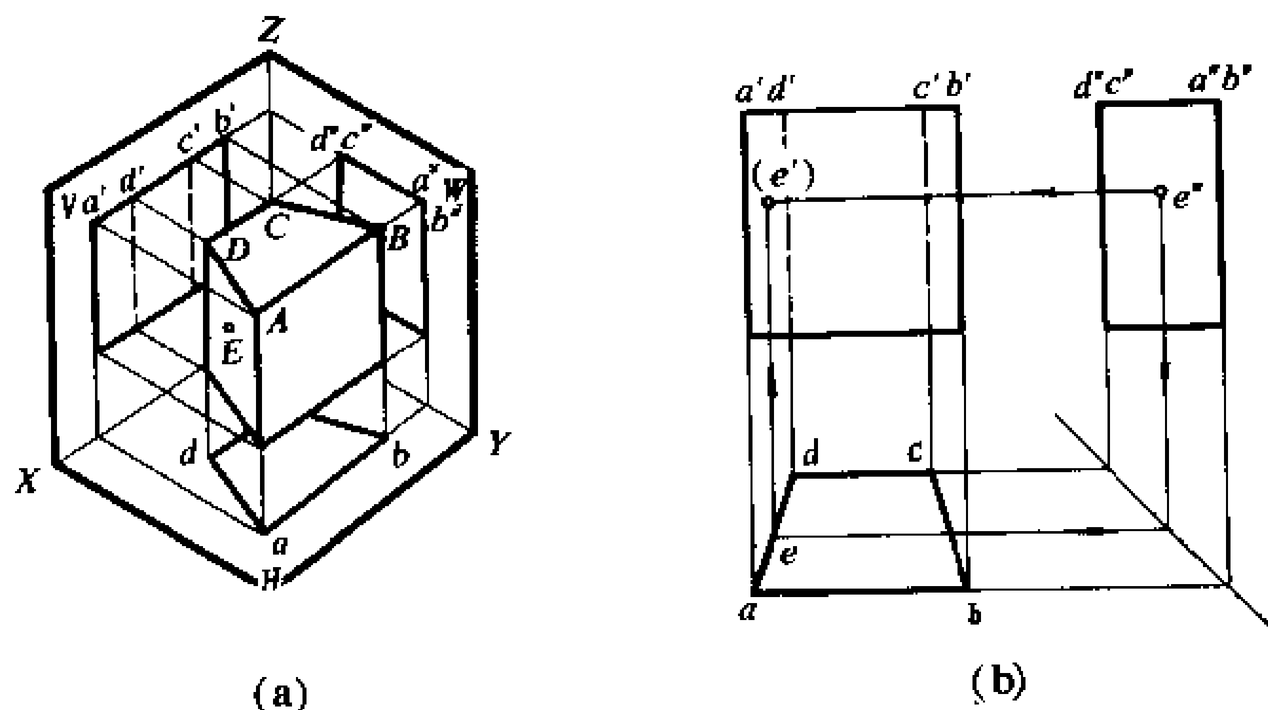


图 3-1 四棱柱的投影

立体的投影由其各表面投影即线框组合而成，在投影图上，就有面与面的重影问题。正确地表示立体，必须在各个投影中判别各表面投影的可见性。图 3-1 所示四棱柱的水平投影中，由于顶面、底面投影重合，顶面的水平投影可见，底面不可见，在正面投影中，因为侧棱面 *AB* 在立体的前面，其正面投影是可见的，而侧棱面 *AD*、*DC*、*CB* 在立体后面，它们的正面投影是不可见的，因此棱线 d' 和 c' 画成虚线；在侧面投影中，因为侧棱面 *AD* 在立体左面为可见，并与右面侧棱面 *CB* 重影，面侧棱面 *AB* 和 *DC* 为正平面，故积聚成垂直的直线。总之，平面立体的各个投影中，每个线框均表示了某个棱面的投影。

2. 棱柱体表面上取点

棱柱体表面上取点和平面上取点的方法相同，先要确定点所在的平面并分析平面的投影特性，如图 3-1b，已知 *E* 点的侧面投影 e''，求出 *E* 点的其他两个投影。

因为 e'' 为可见，必在左侧棱面 *AD* 上，面 *AD* 面为铅垂面，故水平投影 *ad* 积聚为直线，*e* 必在 *ad* 上，由 e'' 和 *e* 即可求得 e'。

3.1.2 棱锥体

1. 棱锥体的投影

图 3 2a 为一正四棱锥，由底面 *ABCD* 和四个侧棱面组成。底面为水平面，水平投影 *abcd* 反映实形，其正面投影和侧面投影积聚成一条水平的直线。四个侧棱面都是一般位置平面，其三个投影均为类似形。

绘图时，先作底面 *ABCD* 的水平投影及它的其他两个投影，如图 3-2b。再作锥顶 *S* 的投影，将锥顶和底面各点的同面投影连接起来，即完成侧棱面的投影。正面投影因 *B* 点在前，故 $s'b'$ 为

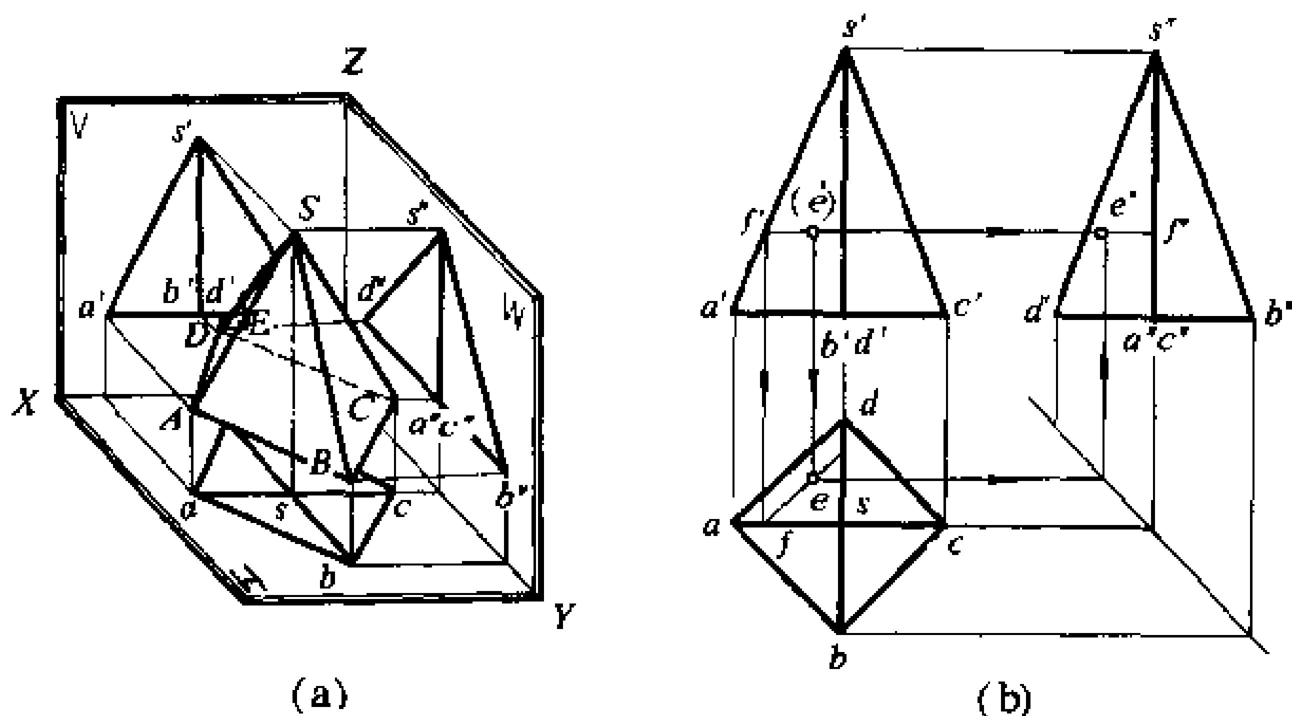


图 3-2　正四棱锥的投影

可见。侧面投影因 A 点在左，故 $s''a''$ 为可见。水平投影因 S 点在底面之上，故四个侧棱面均为可见。

2. 棱锥体表面上取点

作图方法与棱柱体相同。如图 3-2b，已知棱锥体上一点 E 的正面投影(e')，求出其他两个投影。

因为 E 点的正面投影为不可见，故 E 点位于侧棱面 SAD 上，又因 SAD 为一般位置平面，可按平面上取点作图原理。为使作图方便，选择过 E 点的水平线 EF 作为辅助线，如图 3-2b。先作 $e'f' \parallel a'b'$，求得 f；再过 f 作 ad 的平行线即可求得 e。根据 E 的两个投影，可求得 e''。因为平面 SAD 的水平投影和侧面投影均可见，故 E 点的水平投影和侧面投影也为可见。过 E 点还有什么辅助线可方便作图，请读者试作。

3.1.3　平面立体截交线的投影

在工程上常会遇到平面与立体相交的情况，在画图时必须画出交线的投影，才能清楚地表达立体的形状。平面与平面立体相交是上述情况之一，其表面交线称为截交线，平面称为截平面，如图 3-3。

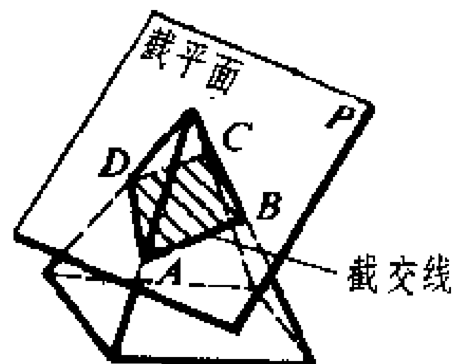


图 3-3　平面立体的截交线

显然，由图可知，截交线是截平面与棱面的共有线，因此求截交线也就是求截平面与平面立体上棱面的共有线。截交线是由直线组成的封闭多边形、多边形的边数决定于平面立体上棱面与截平面相交的交线数目，多边形的顶点就是截平面与平面立体的棱线的共有点。求平面与平面立体的截交线有两种方法：

(1) 求各棱线与平面的交点 —— 棱线法；

(2) 求各棱面与平面的交线 —— 棱面法。

例 3-1　试求正四棱锥被正垂面 P 截切后的三面投影。

分析(图 3-4a)

截平面 P 与四棱锥的四个侧棱面相交，所以截交线为四边形，其四个顶点即四棱锥的四条侧棱线与截平面 P 的交点。因为截平面为正垂面，所以截交线的正面投影积聚在 P_V 上，而其水平投影和侧面投影则为类似形。

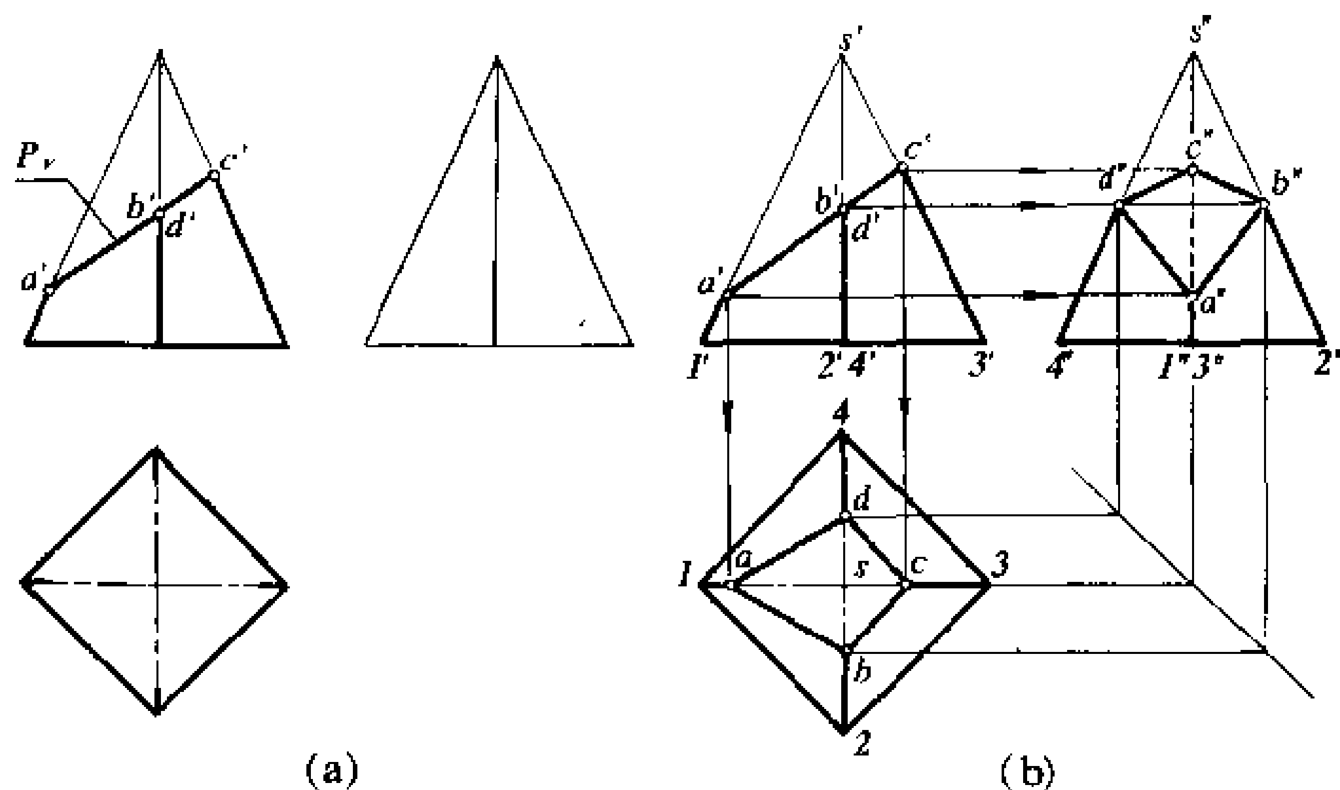


图 3-4　正四棱锥的截交线及其形体的投影

作图(图 3-4b)

(1) 在正面投影中求得 $S\text{Ⅰ}$、$S\text{Ⅱ}$、$S\text{Ⅲ}$ 和 $S\text{Ⅳ}$ 与 P_V 的交点 a'、b'、c'、d'；

(2) 由正面投影 a'、b'、c'、d' 求得相应的水平投影 a、b、c、d 和侧面投影 a''、b''、c''、d''；

(3) 按照在同一棱面上两点相连的原则，即得截交线的水平投影和侧面投影。

例 3-2　如图 3-5a，已知一形体系由四棱柱被一正垂面 P 截断，再被一铅垂面 Q 截断而成，试求被截交后形体的投影。

分析和作图

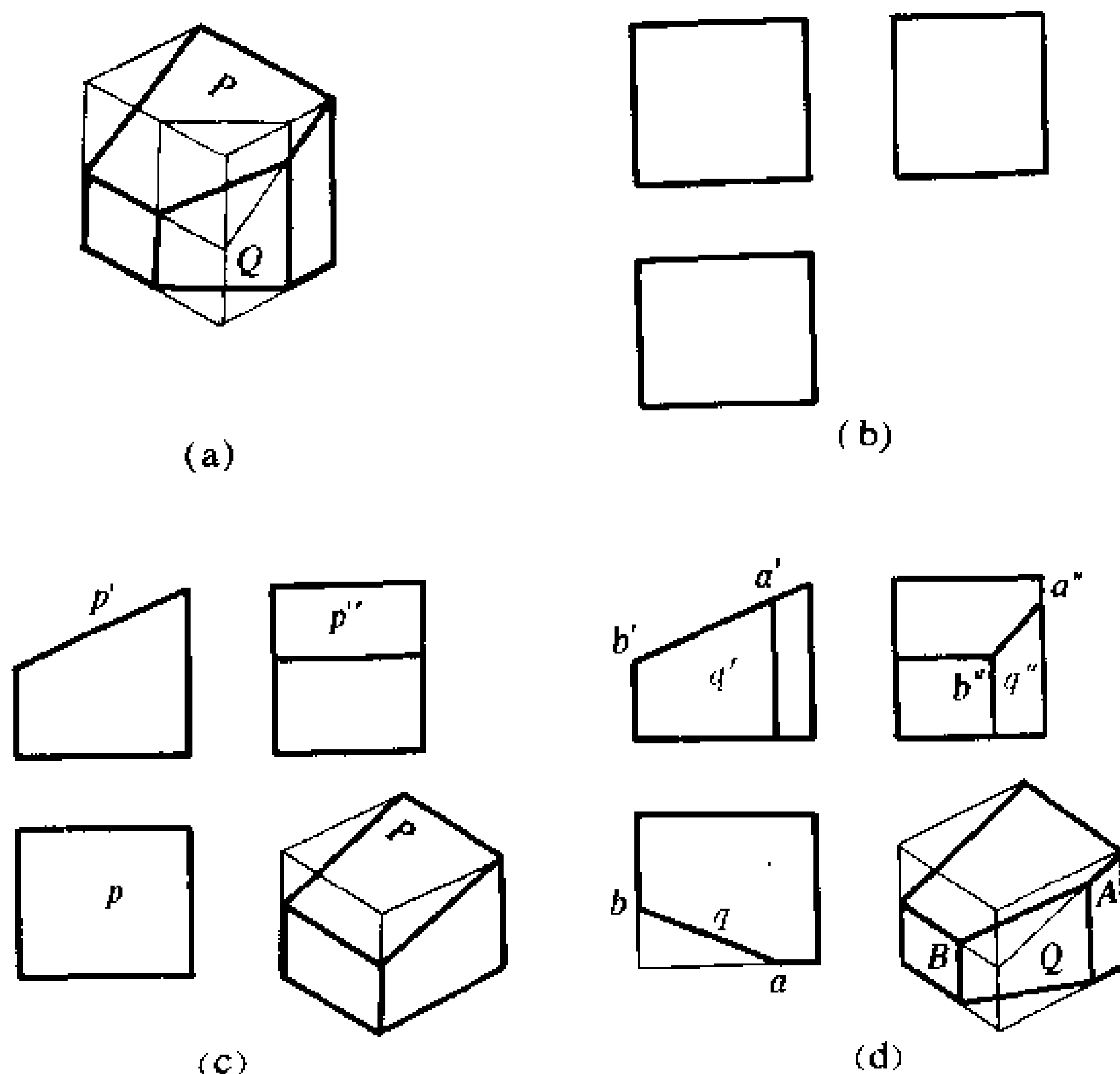


图 3-5　求平面立体截交线的作图步骤

由于形体是由四棱柱被平面 P 和 Q 截交而成，为了正确画出其投影，必须逐步分析其截交

线。先作出基本立体四棱柱的投影图，如图 3-5b。被 P 平面所截时，由于 P 面为正垂面，故截交线正面投影积聚成一直线，截断面为一矩形，截断面的水平投影和侧面投影为矩形的类似形，如图 3-5c。当被 Q 平面所截时，截断面为四边形，由于 Q 平面垂直于 H 面，所以截交线的水平投影积聚成一直线。其正面投影和侧面投影为四边形的类似形，如图 3-5d。应当注意的是 P 与 Q 两平面相交的交线 AB 为一般位置直线，作图时先定出 ab，再求得 $a'b'$（积聚在 P 上），按投影规律求出 $a''b''$。

3.2 曲面立体

3.2.1 回转曲面

曲面立体主要由曲面组成，而曲面中常见的为回转曲面。从立体几何的观点来分析回转曲面，它是一定的线段（该线段称为回转曲面的母线）绕空间一直线作定轴旋转运动而形成的光滑曲面，母线在回转面上的任意位置线称为素线。常见回转曲面的形成和投影见表 3-2。在绘制回转曲面投影时，必须注意这一特性，作出转向轮廓素线的投影。

由表可知，画回转体投影图的次序，首先是定回转轴线（用点划线），然后画有圆的投影，最后作其余的两个投影。

回转曲面在投影时的转向轮廓素线，顾名思义是回转曲面在该投影面上可见面与不可见面的分界线，在转向轮廓素线之前的回转曲面为可见。在转向轮廓素线之后的回转曲面为不可见。转向轮廓素线是对某一投影面而言的，因此不同的投影面就有不同的转向轮廓素线。画图时，凡不属该投影面的转向轮廓素线，一律不必画出。

3.2.2 回转体的投影及其表面取点、取线

回转体由回转曲面或由回转曲面和平面组成，如圆柱体由正圆柱面加上、下底面组成，圆锥体由圆锥面加下底面组成等等。它们的投影及其表面取点、取线叙述如下。

1. 回转面上取点

例 3-3 如图 3-6a 所示，已知圆柱及其面上点 M 的侧面投影 m''，试求点 M 的水平投影和正面投影。

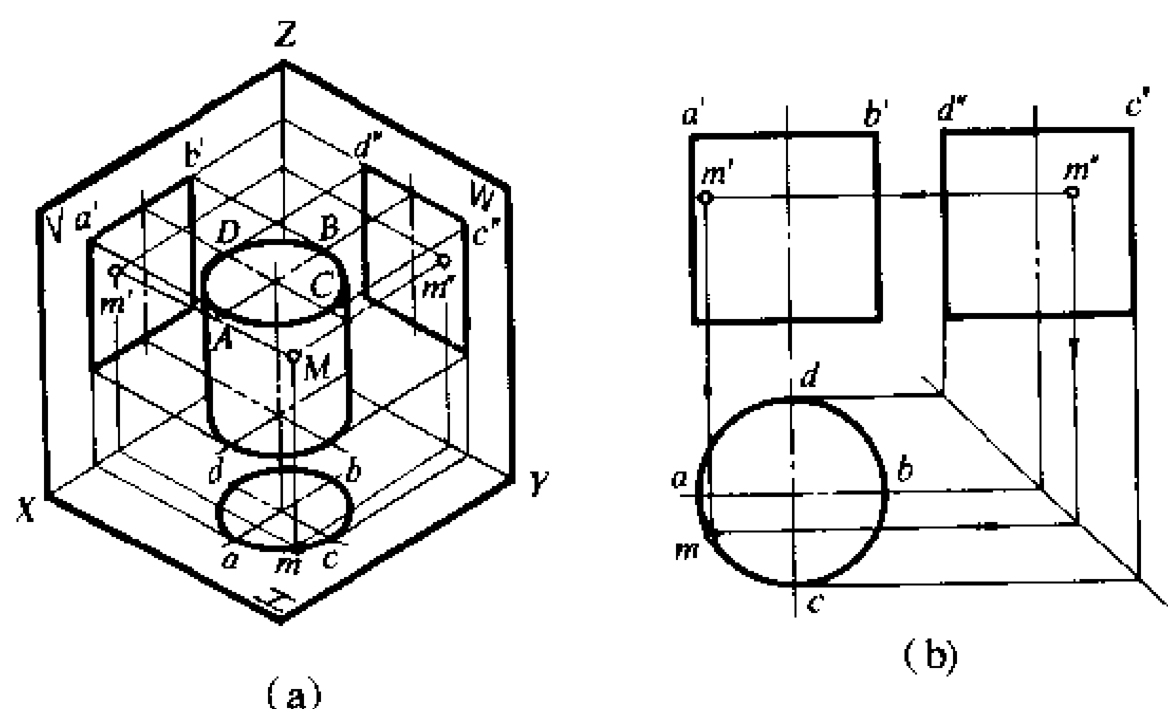


图 3-6 圆柱投影及其表面取点

表 3-2 常见回转曲面的形成及其投影特性

名称	正圆柱面	正圆锥面
形成	以直线 AA 为母线，绕平行直线 OO 为轴线旋转。	以直线 SA 为母线，绕 SO 轴线（与母线相交于 S，夹角为 α）旋转。
投影		
投影特性	(1) 回转轴线用点划线表示； (2) 水平投影积聚为一圆，圆心用水平和垂直的点划线表示； (3) 正面投影和侧面投影各为两条平行的转向轮廓素线。	(1) 回转轴线用点划线表示； (2) 水平投影为一圆，即底面的轮廓线，无积聚性； (3) 正面投影和侧面投影各为两条相交的转向轮廓素线。
名称	球面	环面
形成	以半圆为母线，绕圆的直径为轴线旋转。	以圆 L 为母线，绕不过圆心的直线为轴线旋转。
投影		
投影特性	(1) 正面投影的圆为转向轮廓素线 Ⅰ 的投影； (2) 水平投影的圆为转向轮廓素线 Ⅱ 的投影； (3) 侧面投影的圆为转向轮廓素线 Ⅲ 的投影。 以上三个圆均无积聚性。	(1) 水平投影的点划线圆为母线圆心旋转过程中的运动轨迹。大圆和小圆为上半环和下半环转向轮廓素线的投影； (2) 正面和侧面投影的圆分别为母线旋转到反映实形位置的轮廓素线，两圆相切线为环面轮廓。 内环面为不可见，画成虚线。

分析和作图

圆柱的投影如图 3-6b 所示。首先确定 M 点在圆柱面上的部位，因 m'' 为可见，故 M 点应在圆柱的前面、左边的四分之一圆柱面上。然后根据圆柱面的投影特性，即水平投影的圆具有积聚性，由 m'' 作得 M 点的水平投影 m。最后作出 M 点的正面投影 m'，m' 可见，因它所在的前半个圆面上为可见。

例 3-4 已知圆锥及其面上点 M 的正面投影 m'，试求点 M 的水平投影和侧面投影。

分析

圆锥的投影如图 3-7 所示。首先确定 M 点在圆锥面上的部位，因为 m' 为可见，故 M 点应位于圆锥的前面、左边的四分之一圆锥面上。由于圆锥的投影无积聚性，故必须过 M 点在圆锥面上作一辅助线，为了作图方便，可取过锥顶 S 的素线或垂直于回转轴的圆线。再按点在线上的投影特性求得 M 点的水平投影和侧面投影。

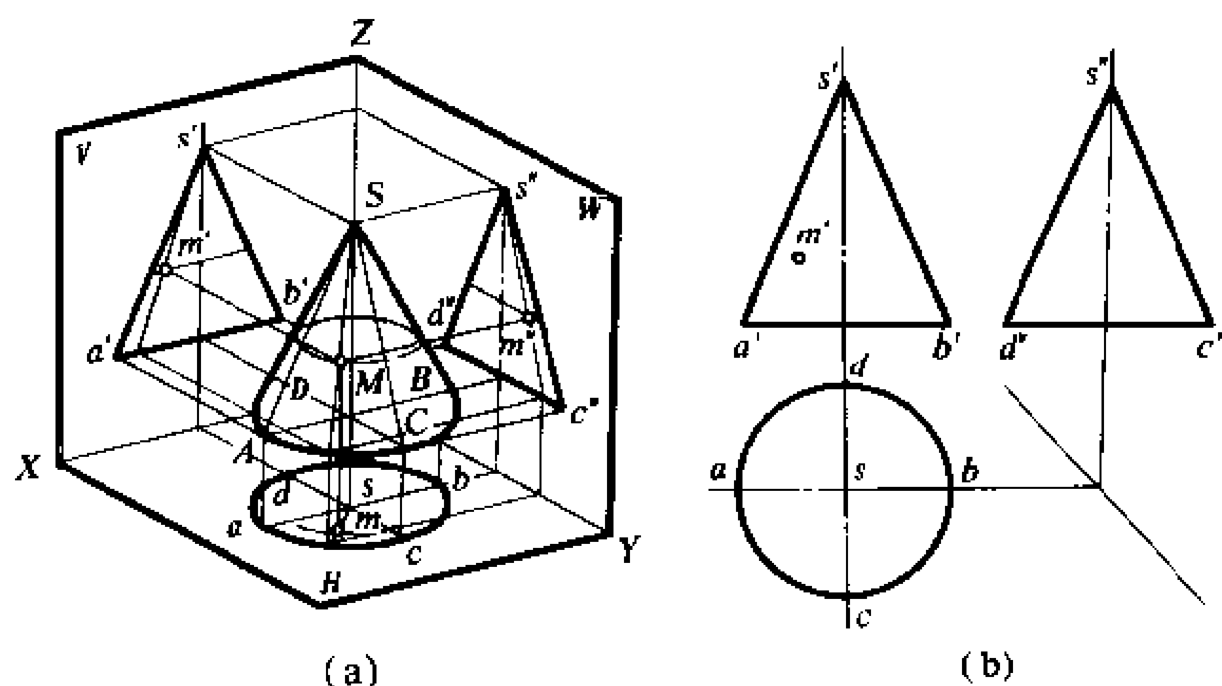


图 3-7 圆锥投影及其表面取点

作图

(1) 用辅助素线法求 m 和 m''，如图 3-8a。

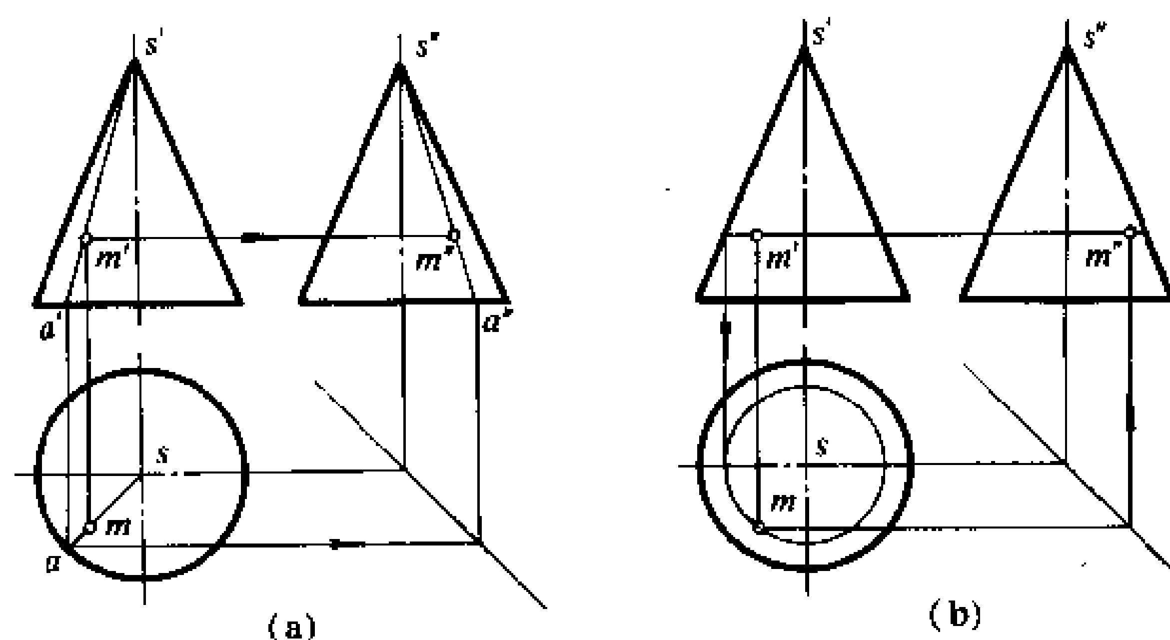


图 3-8 圆锥上取点的作图方法

连接 $s'm'$ 并延长使与底圆相交于 a'，$s'a'$ 即为过点 M 的圆锥面素线 SA 的正面投影。按投影规律求出这条素线 SA 的水平投影 sa 和侧面投影 $s''a''$。点 M 位于辅助线 SA 上。因此点 M 的水平投影 m 必是位于辅助线 SA 的水平投影 sa 上，点 M 的侧面投影 m'' 必是位于辅助线 SA 的侧面投影 $s''a''$ 上。由此求得 m 和 m''。

(2) 用辅助圆求 m 和 m''，如图 3-8b。

过点 m' 作一水平线使与圆锥轮廓相交。这条线段即为过点 M 的辅助圆的正面投影（积聚成直线）。其长度即为辅助圆的直径。由此作出辅助圆的水平投影 —— 圆。过点 m' 作 OX 轴垂直线与辅助圆的水平投影相交，其交点 m 即为点 M 的水平投影。由点 M 的正面投影 m' 和水平投影 m 按投影规律即可求得点 M 的侧面投影 m''，m 和 m'' 均为可见。

例 3-5 如图 3-9a，已知球及其面上点 M 的正面投影 m'，试求点 M 的水平投影和侧面投影。

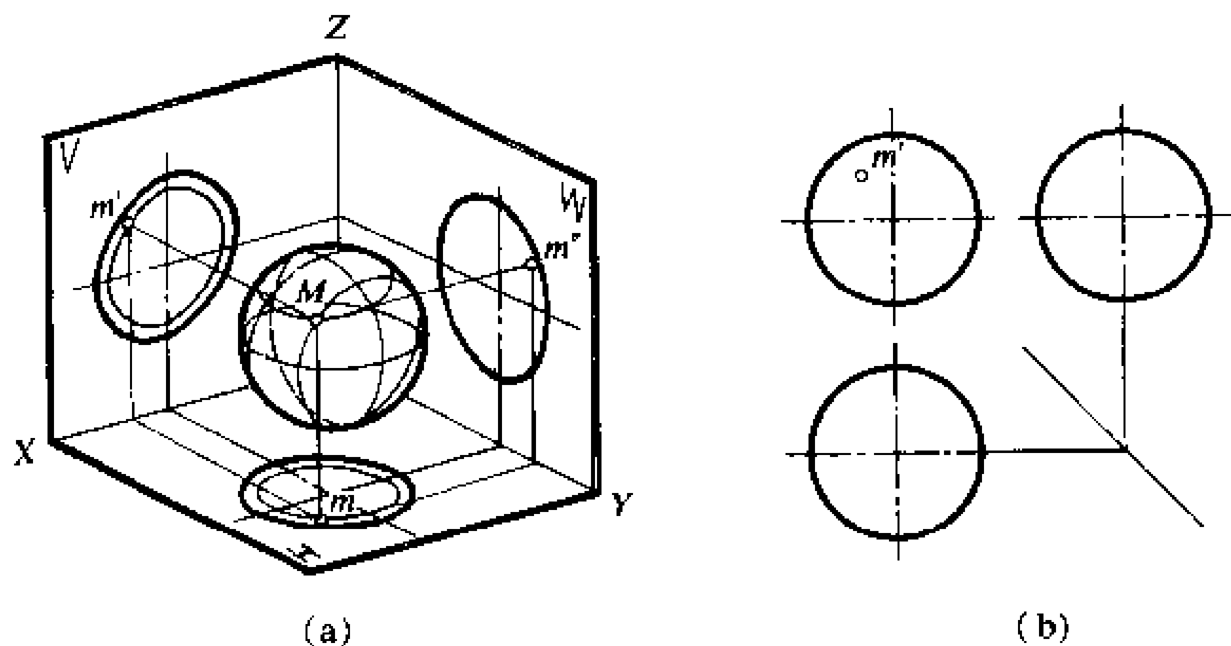


图 3-9 球的投影及其表面取点

分析

球的投影如图 3-9a 所示。首先确定 M 点在球上的部位。因 m' 为可见，故 M 点位于前面左上方球面上。然后在球面上选定过 M 点的辅助线，根据球面形成的性质，可作平行于投影面的各种圆线。以这些圆线为辅助线，再按点在线上的投影特性，求得 M 点的水平和侧面投影。

作图

(1) 作平行于 H 面的辅助圆，如图 3-10a。

过 m' 作水平线，与球的正面投影轮廓相交于两点，这两点间的线段长即为平行于 H 面的辅助圆直径，由此作出辅助圆的水平投影（圆）。点 M 在球面上，它必定亦在该辅助圆上，所以点 M 的水平投影必在辅助圆的水平投影上，从 m' 作 OX 轴垂直线交圆于点 m，再按投影规律即可求得侧面投影 m''。

(2) 作平行于 V 面的辅助圆，如图 3-10b。

过 m' 作一圆（圆心与球心重合），该圆为平行于 V 面的辅助圆实形，按投影规律求得辅助圆的水平投影（为一水平线）和侧面投影（为一垂直线），然后即可求得 m 和 m''。m 和 m'' 均为可见。

若已知 (m') 时，说明 M 点在后半球上，作法与前同，但水平投影和侧面投影的位置均应在

后半球面上。请读者完成其作图。

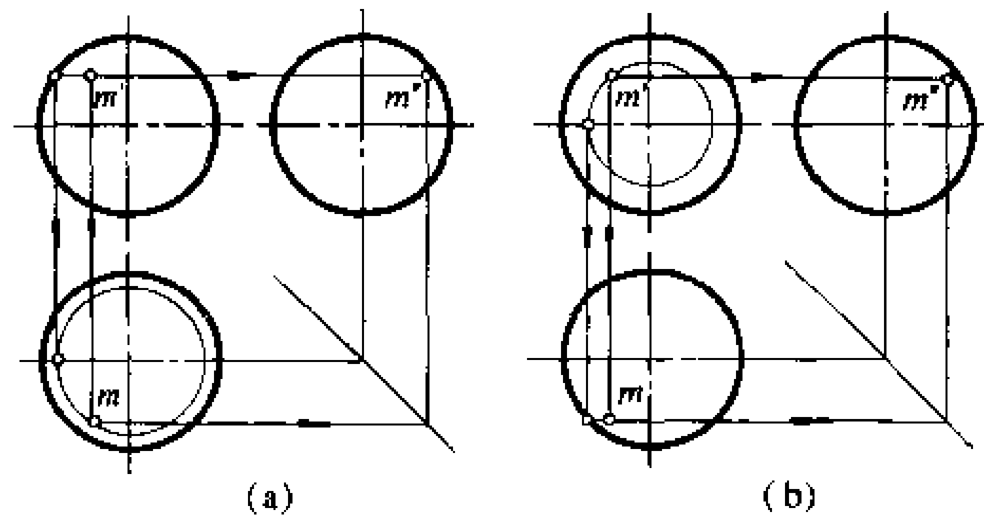


图 3-10　球面上取点的作图方法

例 3-6　已知圆环及其面上点 A 的正面投影 a' 和点 C 的水平投影 c，试作出相应的另一投影。

分析

圆环的投影如图 3-11 所示。按母线圆 L 的大小及位置，通常先画出轴线和中心线，再作反

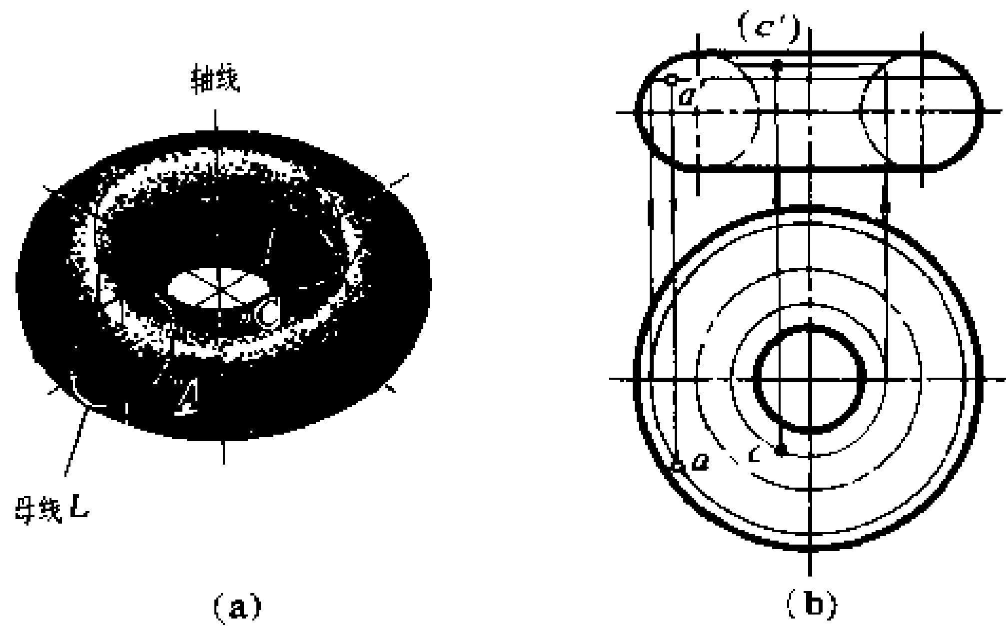


图 3-11　圆环的投影及其表面取点

映母线圆 L 实形的正面投影，然后作其他的投影。在圆环面上取点时，首先分析已知点在圆环面上的部位。如 A 点，因为 a' 可见，所以 A 点位于上半环前方的外环面。又如 C 点，因其水平投影 c 为可见，所以 C 点位于上半环、前方的内环面。然后在圆环面上选择作图方便的辅助线，根据环面形成的性质，可作垂直于轴线，且平行于投影面的各种圆线，用这些圆作为辅助线，再按点在线上的投影特性求得点的其他投影。

作图

本例的辅助圆为平行于 H 面的圆。

(1) 求 a

过 a' 作水平线与外半圆相交，由交点画出辅助圆的水平投影，按点在线上原理求得 a，由

于点 A 在外环面的上半部，故水平投影为可见。

(2) 求 c'

过 c 作辅助圆的水平投影，从而作辅助圆的正面投影，由于 C 点在内环面上，故辅助圆的正面投影应交于内半圆(虚线部分)，按点在线上原理求得(c')，因 C 点在内环面上，故正面投影为不可见。

2. 回转面上取线

例 3-7 已知圆柱及其面上线段 CB 的正面投影 $c'b'$，试求该线段的水平投影和侧面投影。

分析

图 3-12 所示圆柱，其轴线垂直于 H 面，因 CB 线段的正面投影 $c'b'$ 为一倾斜线，故该线段为一平面曲线。因该线段在圆柱面上，而圆柱面的水平投影积聚为一圆，故线段的水平投影积聚在圆上，将线段看成由若干点所组成，即可求得其侧面投影。

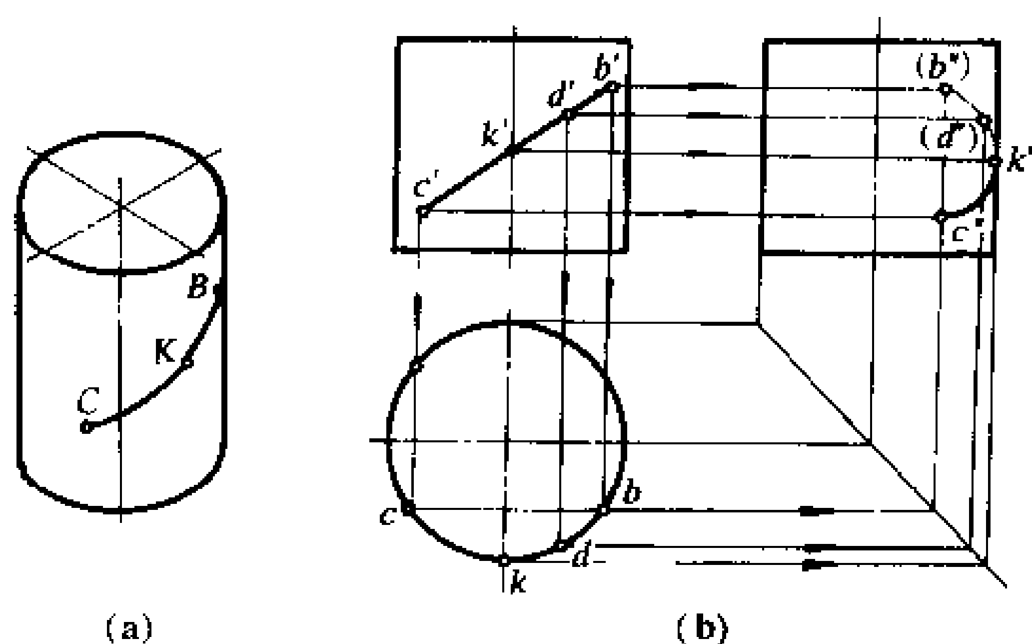


图 3-12 圆柱上线段的投影

作图

(1) 在正面投影上取若干点，如 c'、k'、d'、b' 等，因为它们均为可见，故线段在前半圆柱面上。

(2) 求得水平投影 c、k、d、b 均积聚在圆上。

(3) 求得侧面投影 c''、k''、d''、b'' 后，光滑连接，并判别可见性。因 k'' 位于侧面投影的转向轮廓素线上，曲线 CK 位于左半圆柱面上、KB 位于右半圆柱面上，故 $c''k''$ 为可见，$k''b''$ 为不可见。

例 3-8 试作出圆柱螺旋线的投影

分析

图 3-13 为圆柱螺旋线的形成。若动点 A 沿圆柱的母线作等速运动，同时该点又绕圆柱的回转轴线作等速旋转，则 A 点在圆柱面上复合运动的轨迹，即为圆柱螺旋线(该圆柱又称导圆柱)。

动点 A 的轨迹有左旋和右旋之分。如图 3-13a 所示为右旋螺旋线，而图 b 所示为左旋螺旋线。直线旋转一周，动点沿轴线方向的位移称为导程 S。因此，决定一圆柱螺旋线有三个基本要素：导圆柱直径 D、导程 S 和旋向。

根据这三个要素可画出螺旋线的投影，如图 3-14a。

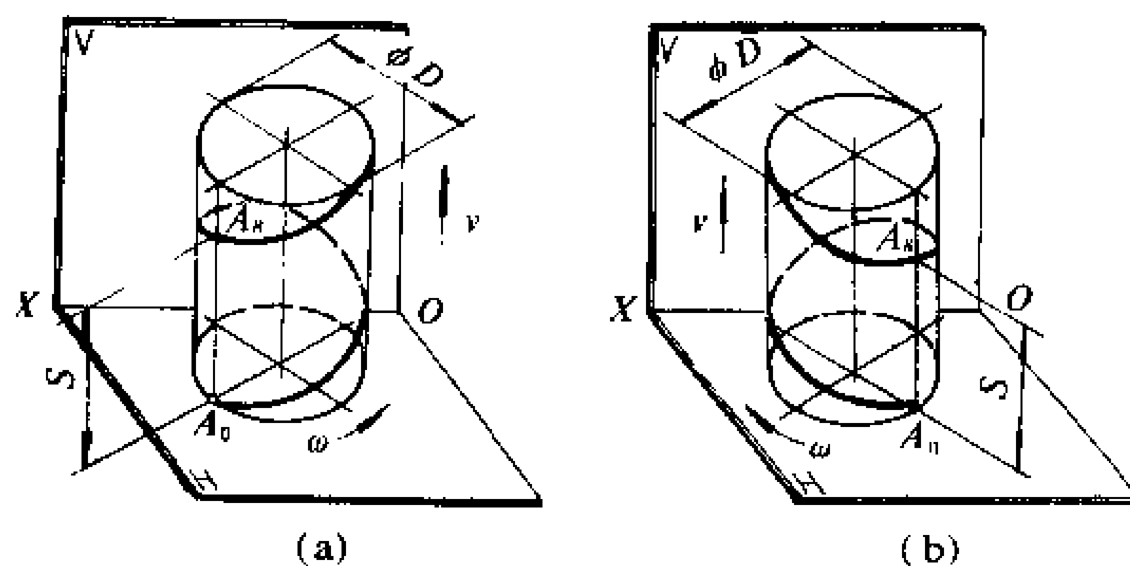


图 3-13　圆柱螺旋线的形成

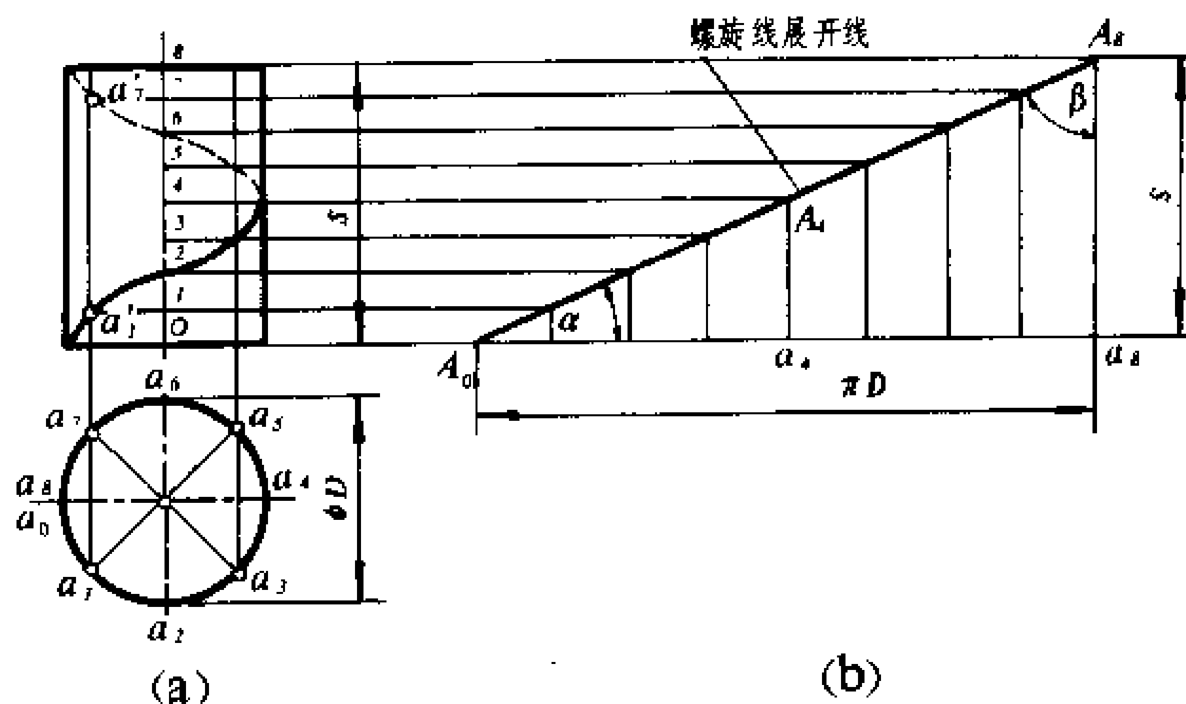


图 3-14　圆柱螺旋线及其展开

作图

如图 3-14a 所示，其作图步骤如下：

(1) 根据导圆柱直径 D、作水平投影圆，取 n 等分(图中为八等分)。

(2) 在正面投影上沿轴线取一导程 S 并取同样 n 等分(图中为八等分)。

(3) 过正面投影轴线上的等分点作水平线，使与过水平投影圆上对应等分点作的垂直线相交，交点即为螺旋线上一点。如点 A_1 的水平投影为圆的第一分点 a_1、正面投影 a'_1 在导程 S 的第一分点 1 的水平线上，依次类推，求出螺旋线上足够点的投影，将各点光滑连接，即完成螺旋线的投影。圆柱螺旋线的正面投影为一正弦曲线。

如果将螺旋线展开就成为一直线，如图 3-14b。该直线与导程 S、导圆柱底周长构成一个直角三角形。在这个三角形中，α 角称为螺旋升角、β 角称为螺旋角、它们之间的几何关系如下：$\mathrm{tg}\alpha = \mathrm{ctg}\beta$。

3.2.3　不完整的回转体

工程上常用到不完整的回转体，它们的投影列于表 3-3，投影画法见下节。

表 3-3 不完整的回转体

部分圆柱	半圆柱	圆锥台
部分球	1/4环	回转曲面体

3.3 回转体截交线的投影

3.3.1 回转体的截交线

由回转体组成的形体，往往不是完整的回转体，而是在回转体上切割去一定形体或增加一定形体。在表示这类形体时，就必须画出表面交线的投影。这些交线可分为两类，即平面与回转体的截交线和相交两立体表面的相贯线。这里先介绍第一种类型，如图 3-15 联轴接头，其主体为圆柱，形体表面上有若干截交线。下面叙述常见回转体上截交线的投影特性及其作图方法。

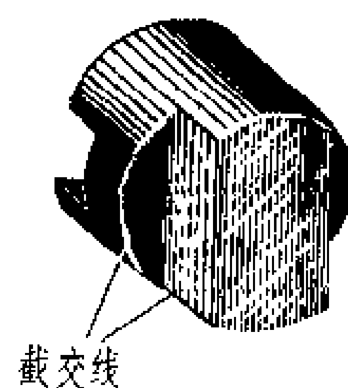


图 3-15 截交线

回转体的截交线与前述的平面立体截交线的特点和性质亦有如下相似点：

1. 截交线的形式

通常截交线的形式取决于以下两个方面：

(1) 回转体形状；

(2) 截平面与回转体的相对位置。

2. 截交线的性质

(1) 截交线上的点既在截平面上又在回转体上，因此将这些共有点光滑连接起来，便形成

截交线。

(2) 截交线通常是一平面封闭曲线或直线。

3. 求截交线投影作图方法

(1) 表面取点法

已知截交线的一个投影(往往是有积聚性的投影),根据共有点性质,利用表面取点法,求出截交线的其他投影。

(2) 辅助平面法

采用假设平面,使其与截平面和回转体相交,利用三面共有点的几何原理,求出截交线上的点,作出截交线的投影。

3.3.2 圆柱的截交线

由于截平面与圆柱轴线的相对位置不同,圆柱截交线有三种:两平行直线组成矩形、圆以及椭圆,见表 3-4。

表 3-4 圆柱截交线

	截平面平行于圆柱轴线	截平面垂直于圆柱轴线	截平面斜交于圆柱轴线
截平面的位置	P	P	P
投影图			
截交线	两平行直线组成矩形	圆	椭圆

例 3-9 求正垂面 P 与圆柱相交的截交线。

分析

如图 3-16,圆柱轴线垂直 H 面,截平面垂直 V 面且与圆柱轴线倾斜,故截交线是椭圆,截交线的正面投影与截平面的正面投影重影,截交线的水平投影与圆柱的水平投影重影,截交线的侧面投影为椭圆但不反映实形。作图时只要先作出椭圆长、短轴的端点,再作一般点,用曲线光滑连接即可。

作图

(1) 在圆柱表面上均匀取若干素线。图中取了八根素线,包括了最前、最后、最左、最右四

根素线。

(2) 求特殊点

截交线上的特殊点一般包括确定范围的高、低、前、后、左、右各点，以及对投影面的可见和不可见的分界点，截交线为椭圆时，尚需求得椭圆长、短轴的端点。在图 3-16 中，由正面投影可定出最高点和最低点，即 5′ 和 1′，由水平投影可定出最前点和最后点，即 3 和 7。这四点也正是椭圆的长、短轴的端点，并确定了侧面投影的椭圆。

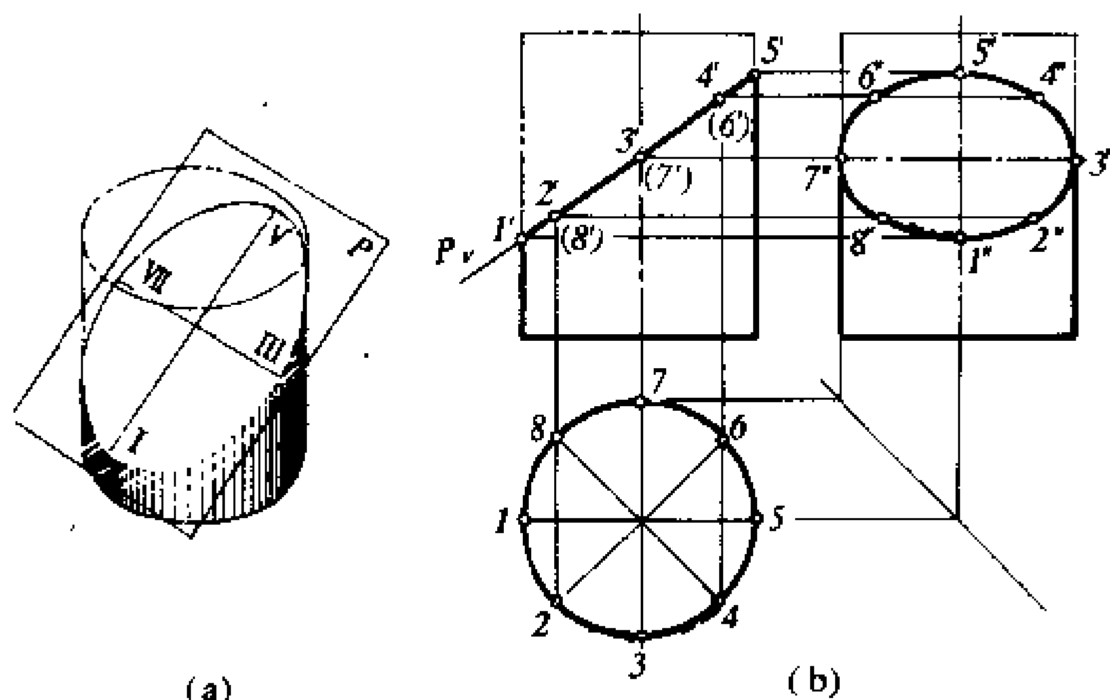


图 3-16　正垂面与圆柱相交

(3) 求一般点

为了正确地作出截交线的椭圆，还应适当地求作一些点，这些点通常取在两特殊点之间。如图 3-16，在有积聚性的水平投影图上的 2，4，6，8，再求得它们的另外两个投影。

(4) 依次连接相邻两素线上的点，得侧面投影 1″2″3″……7″8″1″ 为一椭圆，即为所求截交线的侧面投影。

例 3-10　如图 3-17，已知一带缺口圆柱体的正面投影，试作出其水平和侧面投影。

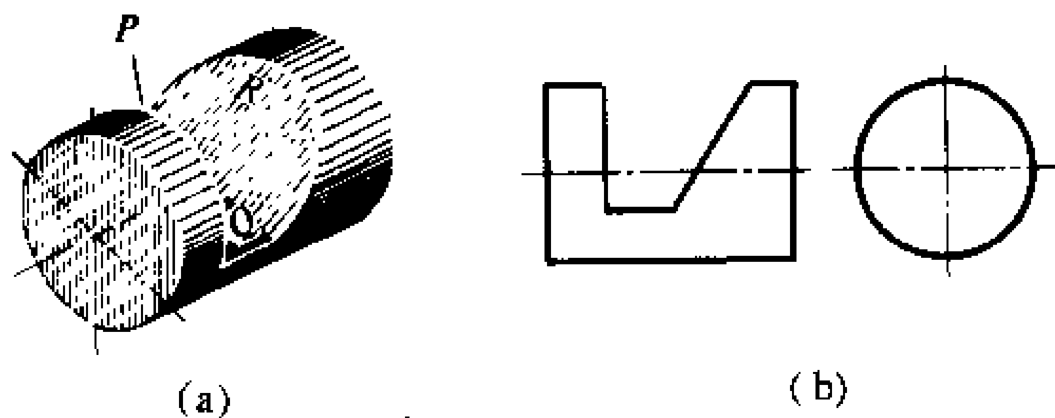


图 3-17　带缺口的圆柱体

分析

圆柱缺口是由 P，Q，R 三个平面切割面成，圆柱体的回转轴垂直于侧面。截平面 P 为侧平面，其截交线为圆的一部分，截平面 Q 为水平面，其截交线为两平行直线；截平面 R 为正垂面，其截交线为椭圆的一部分。面截平面 P 和 Q 以及截平面 Q 和 R 的交线均为正垂线。

作图

具体作图步骤如图 3-18。

(1) 由 P 的正面投影确定截交线的侧面投影积聚在圆上，截交线的水平投影积聚在垂直线上，如图 3-18a。

(2) 由 Q 的正面投影，作得侧面投影为一有积聚性的虚线，然后作得 Q 的截交线的水平投影，如图 3-18b。

(3) 由 R 的正面投影和侧面投影确定截交线为椭圆的长、短轴，作出截交线的水平投影为部分椭圆，如图 3-18c。

(4) 作 P 面和 Q 面以及 Q 面和 R 面的交线，校核后，描深，如图 3-18d。

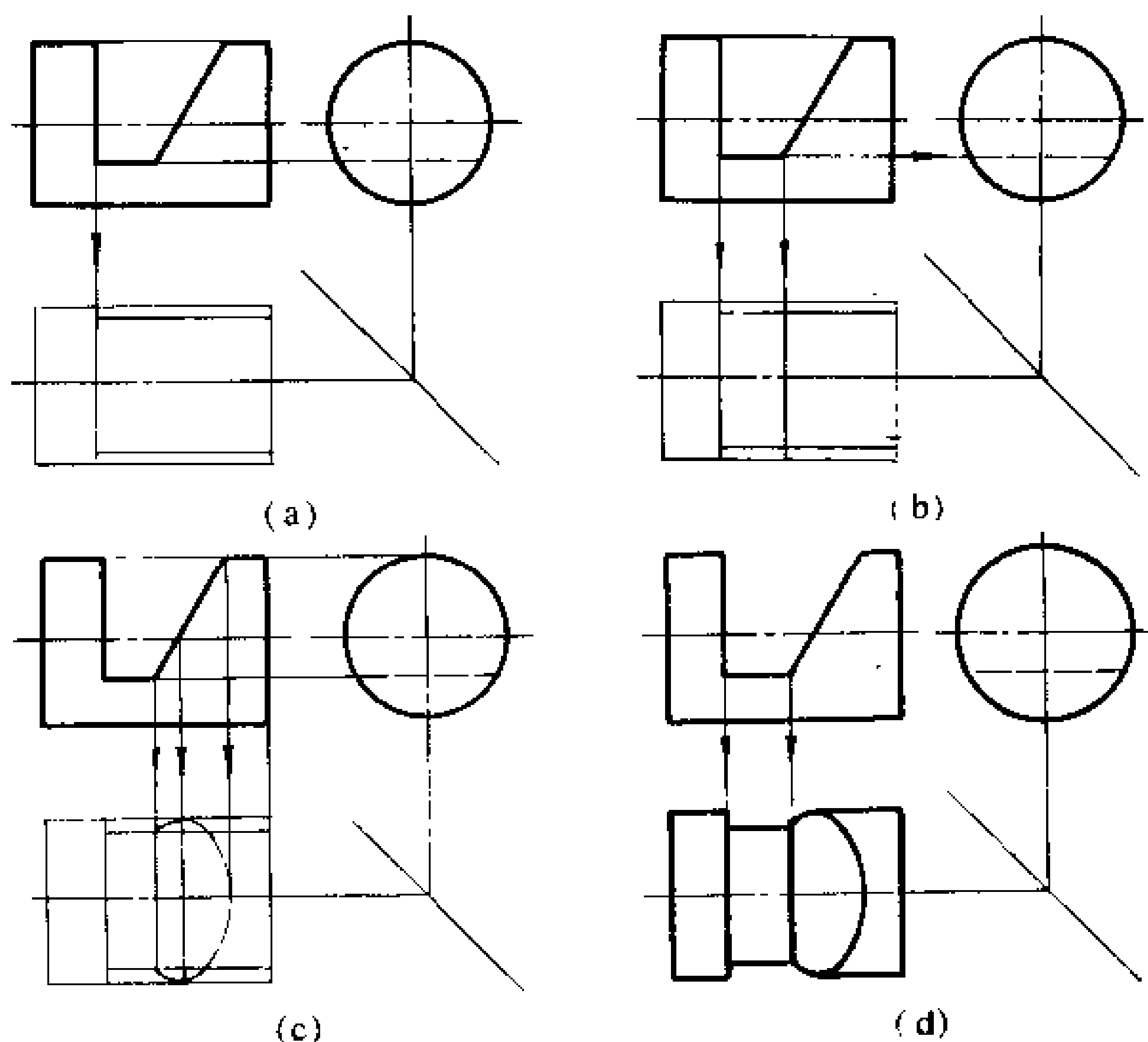


图 3-18　带缺口圆柱体的作图步骤

3.3.3　圆锥的截交线

由于截平面与圆锥轴线的相对位置不同，圆锥截交线有五种：过锥顶两相交直线与底面直线组成三角形、圆、椭圆、双曲线与直线组成的平面图形、抛物线与直线组成的平面图形。见表 3-5。

例 3-11　求正垂面 P 与圆锥相交的截交线。

分析

表 3-5　圆锥截交线

	截平面通过圆锥锥顶	截平面垂直于圆锥轴线	截平面斜交圆锥轴线 $\theta > \alpha$
截平面位置及投影图			
截交线	过锥顶两相交直线组成三角形	圆	椭圆
	截平面斜交圆锥轴线 $\theta < \alpha$	截平面平行于圆锥轴线	截平面斜交圆锥轴线 $\theta = \alpha$
截平面位置及投影图			
截交线	双曲线与直线	双曲线与直线	抛物线与直线

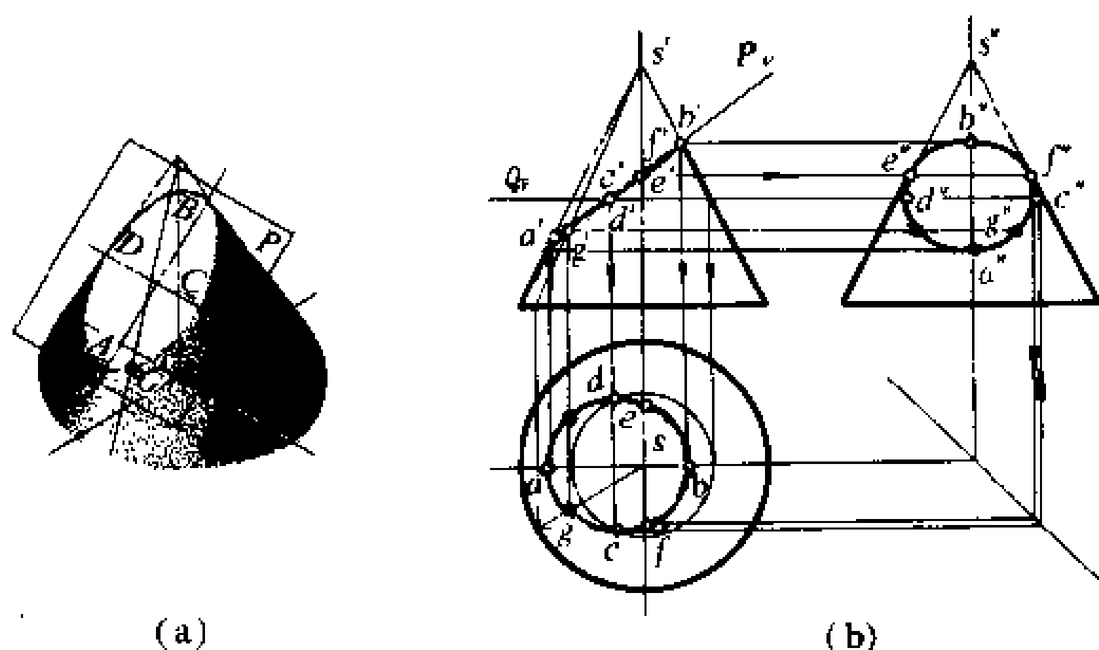


图 3-19　正垂面与圆锥截交

如图 3-19，圆锥轴线垂直于 H 面，截平面 P 垂直于 V 面且与圆锥轴线倾斜，所以截交线为椭圆。截交线的正面投影与截平面的 P_V 重合，而水平投影和侧面投影均为椭圆，但不反映实形。作图时，只要先求出椭圆长、短轴的端点，再作一般点，然后用曲线光滑地连接即可。

作图

(1) 截交线椭圆的长轴 AB 与短轴的 CD 互相垂直平分，它们各处于正平线和正垂线的位置，在 P_V 上确定为 a'、b'、c'、d'。而这些点也分别为截交线的最高、最低点和最前、最后点。

(2) 根据圆锥表面取点的方法求得 A、B、C、D 各点的水平投影和侧面投影。因为 A 和 B 是在圆锥的正面投影转向轮廓素线上，所以可直接求得其另外的两个投影。而 C 和 D 可用通过它们且垂直于圆锥轴的水平面 Q(如图 3-19b) 与圆锥的截交线为圆的辅助线，来求得它们的投影。此法称为辅助平面法。

E 和 F 为截交线侧面投影转向轮廓素线上的点，也属于特殊点，求法如图所示。

(3) 若连接点不够光滑，还应适当多求几个一般点，如 G 点(用锥面上的素线作为辅助线)。

(4) 用曲线光滑地连接相邻两素线上的点，即得截交线的投影

例 3-12 如图 3-20，画出顶针的截交线的投影。

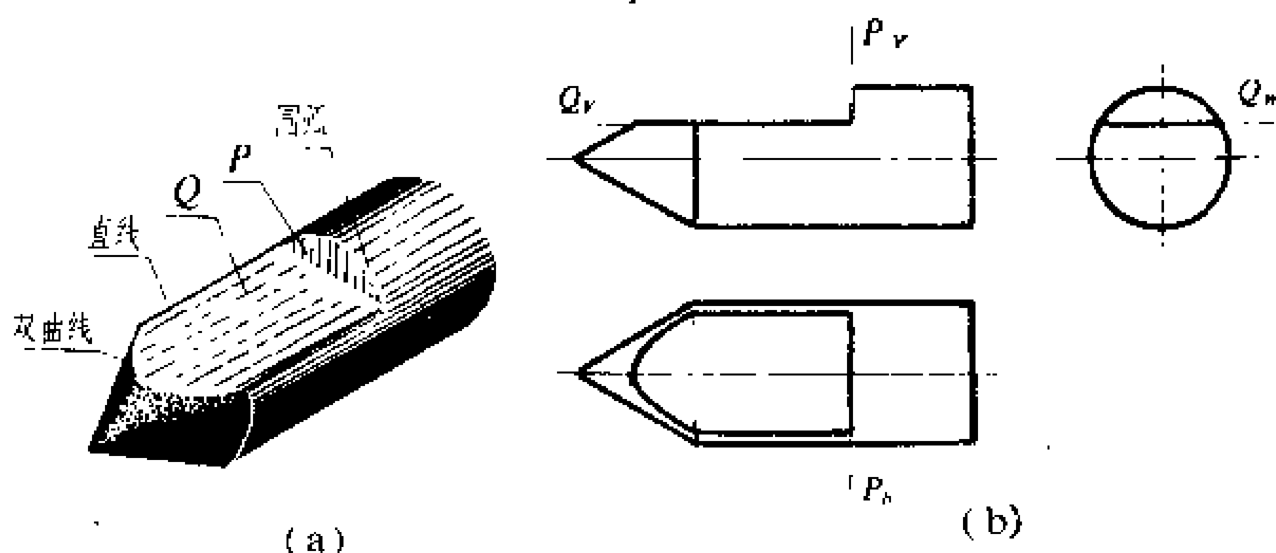


图 3-20 顶针的截交线的投影

分析

顶针由一同轴的圆锥和圆柱组成，其上铣切去的部分，可以看成被水平面 Q 和侧平面 P 截切而形成。平面 Q 的截交线是由双曲线和两条平行直线所组成，其水平投影反映实形，而侧面投影积聚在 Q_W 上。平面 P 的截交线是部分圆，其侧面投影反映实形，而水平投影积聚在 P_H 上。所以整个截交线是由双曲线、直线和圆弧所组成的空间封闭的图形。作投影时，对截交线为圆和直线的部分，可利用平面投影的积聚性和圆柱投影的积聚性直接求得，而截交线为双曲线的部分，需要使用辅助平面法进行作图，详述如下。

作图

如图 3-21。

(1) 求特殊点，双曲线的顶点 Ⅲ 和末端两点 Ⅰ 和 Ⅱ，先在正面投影上确定 $3'$、$1'$ 和 $2'$。再求得它的其他两个投影，如图 3-21b。

(2) 求一般点，如 Ⅳ 和 Ⅴ 两点，可以用辅助平面 R(侧平面) 求得。

(3) 用曲线光滑地连接各点。

3.3.4 球的截交线

平面与球相交，不论截平面处于何种位置，其截交线都是圆。当截平面通过球心时，这时截交线的圆的直径最大，即等于球的直径；截平面离球心越远，截交线圆的直径越小。

由于截平面对投影面位置的不同，截交线的圆的投影也不相同，有时投影为直线，有时投

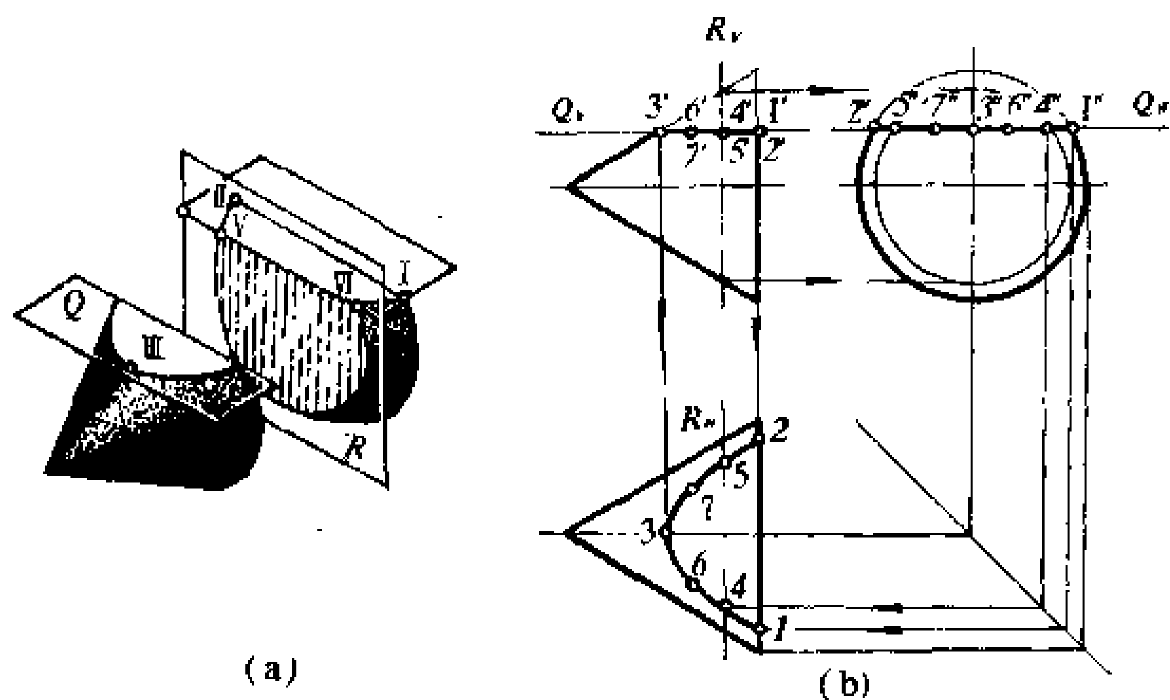


图 3-21　水平面与圆锥截交

影为圆，有时投影为椭圆，各种投影情况参阅表 3-6。

表 3-6　球的截交线

	截平面为水平面	截平面为正垂面
截平面位置及投影图	P	D D D P
截交线	圆	圆

例 3-13　如图 3-22，试求正垂面与球截交后的截交线的投影。

分析

正垂面与球截交后的截交线为圆，截交线的正面投影积聚在 P_V 上，即 $a'b'$，它也等于截交线圆的直径。截交线的水平投影和侧面投影都是椭圆，只要求得水平投影和侧面投影椭圆的长轴和短轴，就可以用几何作图方法作出截交线的水平投影和侧面投影。

作图

(1) 作短轴 ab 和 $a''b''$。由于 $a'b'$ 是在正面转向轮廓素线上，故可直接作得 a，b 和 a''，b''。

(2) 作长轴 cd 和 $c''d''$。取 $a'b'$ 的中点 $c'(d')$，按球面上取点的方法找出 c，d 和 c''，d''。$cd = c''d'' = a'b'$。

(3) 以长轴 cd 和短轴 ab 作椭圆，得截交线的水平投影。以长轴 $c''d''$ 和短轴 $a''b''$ 作椭圆，得截交线的侧面投影。

本题也可用表面取点法（或辅助平面法），求得椭圆上若干点（特殊点和一般点）的投影，

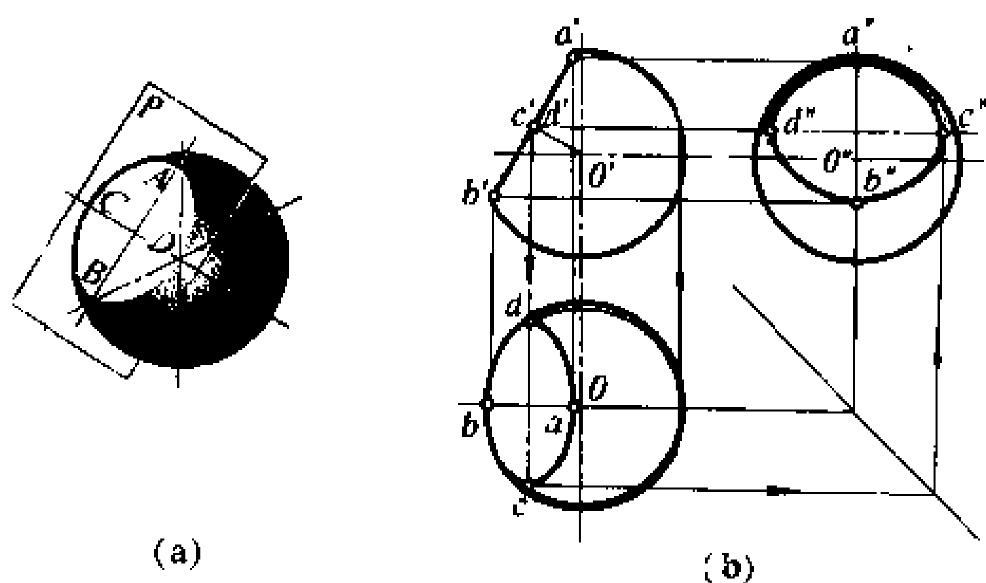


图 3-22　正垂面与球截交

光滑连接成椭圆。

例 3-14　如图 3-23，已知球阀芯的正面投影，试作水平投影和侧面投影。

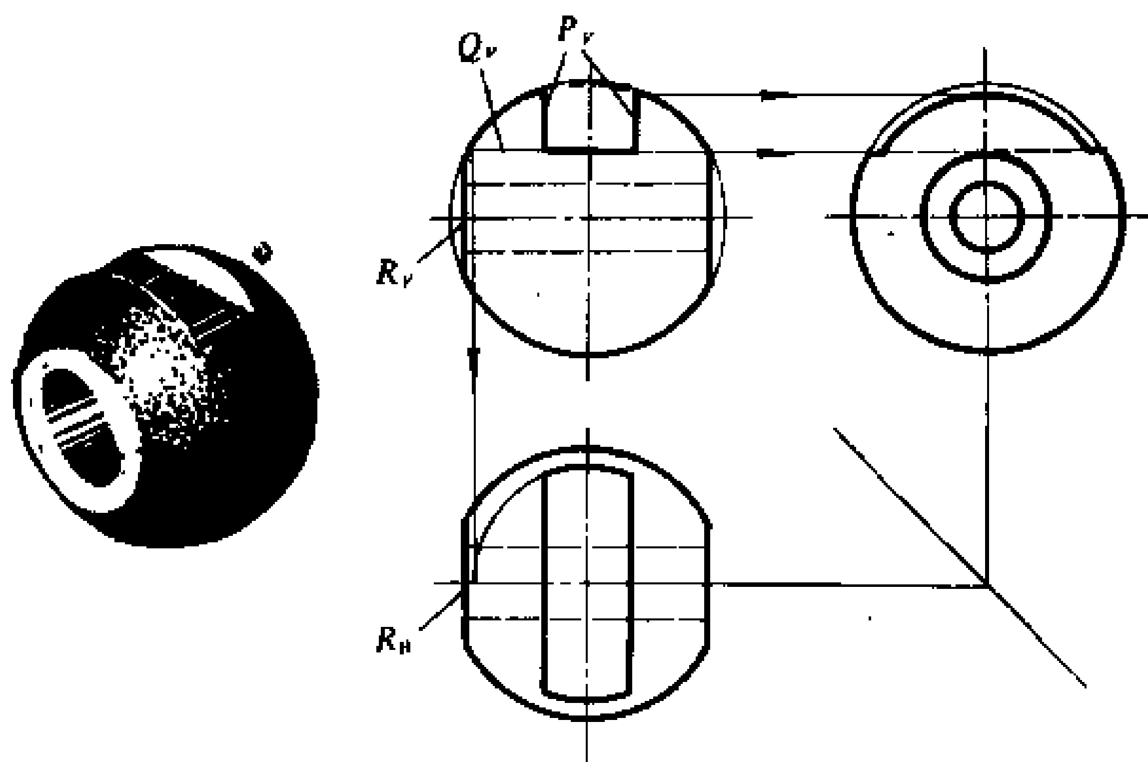


图 3-23　球阀芯的投影

分析

球阀芯的主体为球，其中央有一圆孔，左右两端被侧平面 R 所截，截交线为平行侧面的圆。球体上部开一凹槽，凹槽由两个侧平面 P 和一个水平面 Q 组成。P 面与球的截交线是平行侧面的两段圆弧。Q 面与球的截交线为前后两段水平圆弧。

作图

(1) 作两侧平面 R 与球的截交线，其侧面投影反映截交线圆的实形，其水平投影积聚在 R_H 上为直线。

(2) 作凹槽两侧平面 P 与球的截交线，其侧面投影反映截交线圆弧实形，其水平投影积聚为直线。

(4) 作凹槽底面 Q 与球的截交线，因为 Q 面是水平面，故水平投影反映两段圆弧的实形，其侧面投影积聚为直线，不可见部分为虚线。

通过以上数例，可知物体上的各种表面的截交线，应当运用求表面交线的方法，准确地作出投影。为此必须认真分析：

1) 组成物体的各基本立体的形状和相对位置。

2) 截平面与各基本立体的相对位置。

3）截交线的空间形状及其投影形状。

3.4 立体上相贯线的投影

表示形体的投影时，还必须作出表面的第二种类型的交线——相贯线，如图 3-24。

3.4.1 立体的相贯线

相贯线 两个表面的交线

1. 相贯线的性质

（1）相贯线上的点是两立体表面的共有点。因此，相贯线可看作是由参与相贯的两立体表面共有点组成的。

（2）由于立体有一定的范围，所以相贯线一般是闭合的。

2. 按照立体的类型，常见的立体相贯有以下两种：

（1）平面立体与回转体相贯；

（2）回转体与回转体相贯。

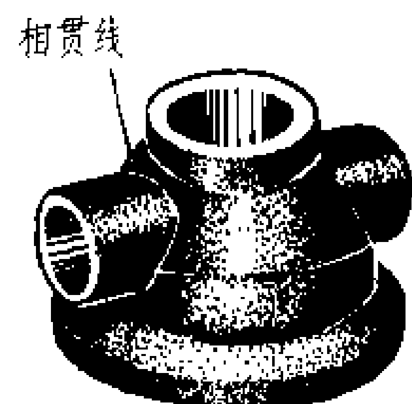


图 3-24 阀体上的相贯线

3.4.2 平面立体与回转体相贯

平面立体与回转体的相贯线是若干平面曲线或平面曲线和直线所组成的空间闭合曲线或直线。每段平面曲线是平面立体上某一棱面与回转体的截交线，相邻两段平面曲线的连接点是平面立体上的棱线与回转体的交点。因此，求平面立体和回转体的相贯线投影的方法，实质上也就是上节所讲的求截交线的投影方法。

例 3-15 如图 3-25，试求圆柱与正四棱柱的相贯线。

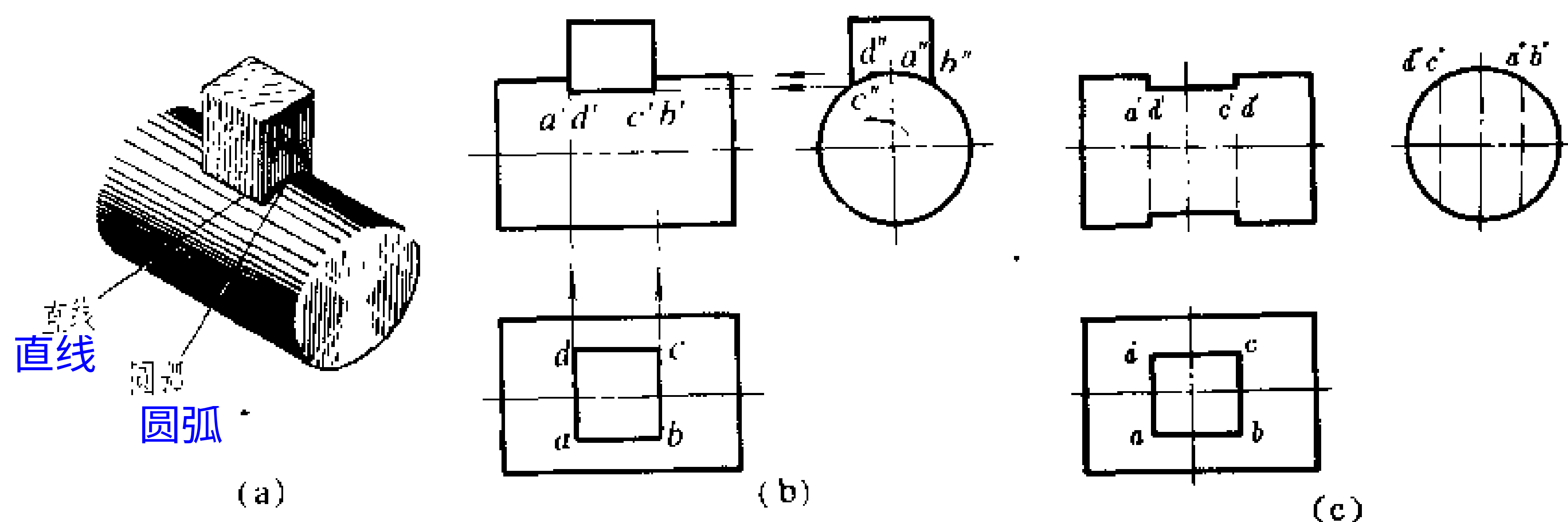


图 3-25 圆柱与正四棱柱相贯

分析

图中所示两立体的相对位置，正四棱柱全部贯穿于圆柱，称“全贯”。相贯线可看作是圆柱被四个平面截交而成，其中一对平面平行圆柱轴线，其截交线是两条平行直线。另一对平面垂直于圆柱轴线，其截交线是两段圆弧，它们组成了封闭的空间相贯线。两段截交线的连接点为四棱柱的四条棱线与圆柱面的交点。

作图

（1）相贯线的水平投影积聚在四个侧棱面的水平投影上，为一长方形 $abcd$；

（2）相贯线的侧面投影积聚在圆柱面的侧面投影上，为部分圆弧$\overset{\frown}{a''d''}$；

（3）相贯线正面投影，如图 3-25b 所示的投影箭头的求法；

（4）描深。

图 3-25c 为圆柱上开正四棱柱孔的相贯线。作法同上，但应注意正四棱柱孔不可见轮廓线为虚线。

例 3-16　如图 3-26，试求三棱柱与圆锥的相贯线。

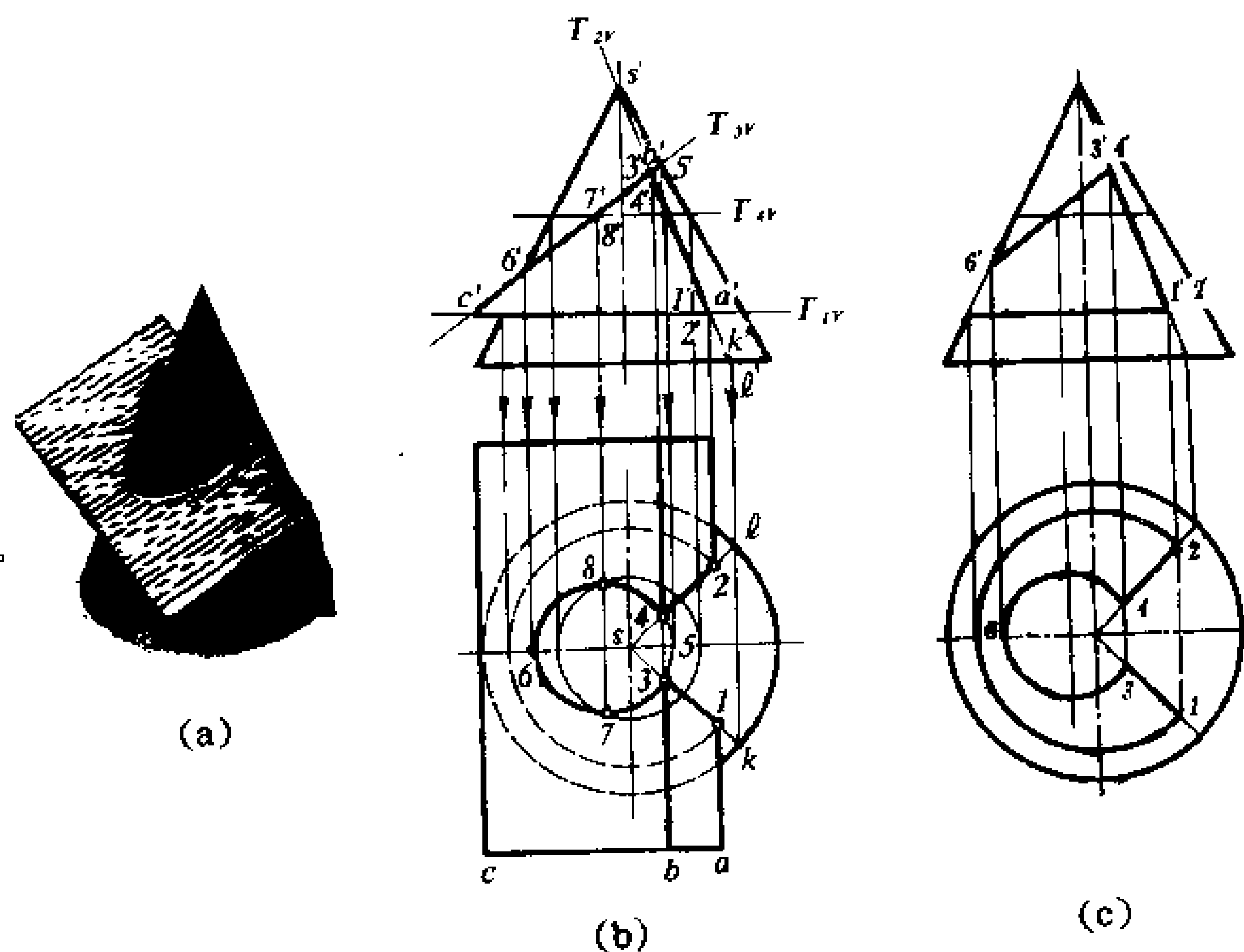


图 3-26　三棱柱与圆锥相贯

分析

图中所示两立体的相对位置为互相贯穿，简称“互贯”。三棱柱的 AB、BC 两个棱面是正垂面，AC 棱面为水平面，所以相贯线的正面投影与三角形 $a'b'c'$ 重影。AC 棱面与圆锥的截交线为圆。AB 棱面通过圆锥顶点 S，它与圆锥的截交线为过锥顶的两直线。BC 棱面与圆锥的截交线为椭圆。所以相贯线是由部分圆弧、椭圆以及直线组成，连接点为 A、B 两棱线与圆锥面的交点Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ。C 棱线没有与圆锥相交。

作图

如图 3-26b。

(1) 过 AC 棱面作一辅助水平面 T_1，它与圆锥截交线的水平投影为实形的圆，与 A 棱线的水平投影相交于 1 和 2，为不可见，截交线的正面投影积聚在 T_{1V} 上。

(2) 过 AB 棱面作一辅助正垂面 T_2，它与圆锥截交线的水平投影为相交于锥顶 S 的两直线 sk、sl，它们与 A 棱和 B 棱的水平投影相交于 1，2 和 3，4，均为可见，截交线正面投影积聚在 T_{2V} 上。

(3) 过 BC 棱面作一辅助正垂面 T_3，它与圆锥截交线的水平投影为一椭圆，与 B 棱的水平投影相交于 3 和 4，为可见。为了求椭圆的短轴，用水平面 T_4 作为辅助面求得水平投影 7，8，截交线的正面投影积聚在 T_{3V} 上。

图 3-26c 为圆锥开三棱柱孔的相贯线。作法同上。应注意三棱柱不可见的棱线为虚线。

3.4.3　回转体与回转体相贯

两回转体的回转面相交时，其相贯线通常是空间曲线，特殊情况是平面曲线或直线。由于

回转体不像平面立体有明显的轮廓线和连接点，因此求作两回转体的相贯线必须作出相贯线上足够的点，即特殊点和一般点。常用的作图方法为辅助平面法，作法如下：

假设作一辅助平面使与相贯的两回转体相交，作出辅助平面与两回转体的截交线，这两条截交线的交点，即为相贯线上的点。若作一系列的辅助平面，可得相贯线上的若干点，然后依次连接各点，就得到相贯线。选择辅助平面的原则是辅助平面与两回转体的截交线都是最简单的图形，如直线、多边形、圆等，这样可以使作图简便。

例 3-17 如图 3-27，试求圆柱与圆柱的相贯线。

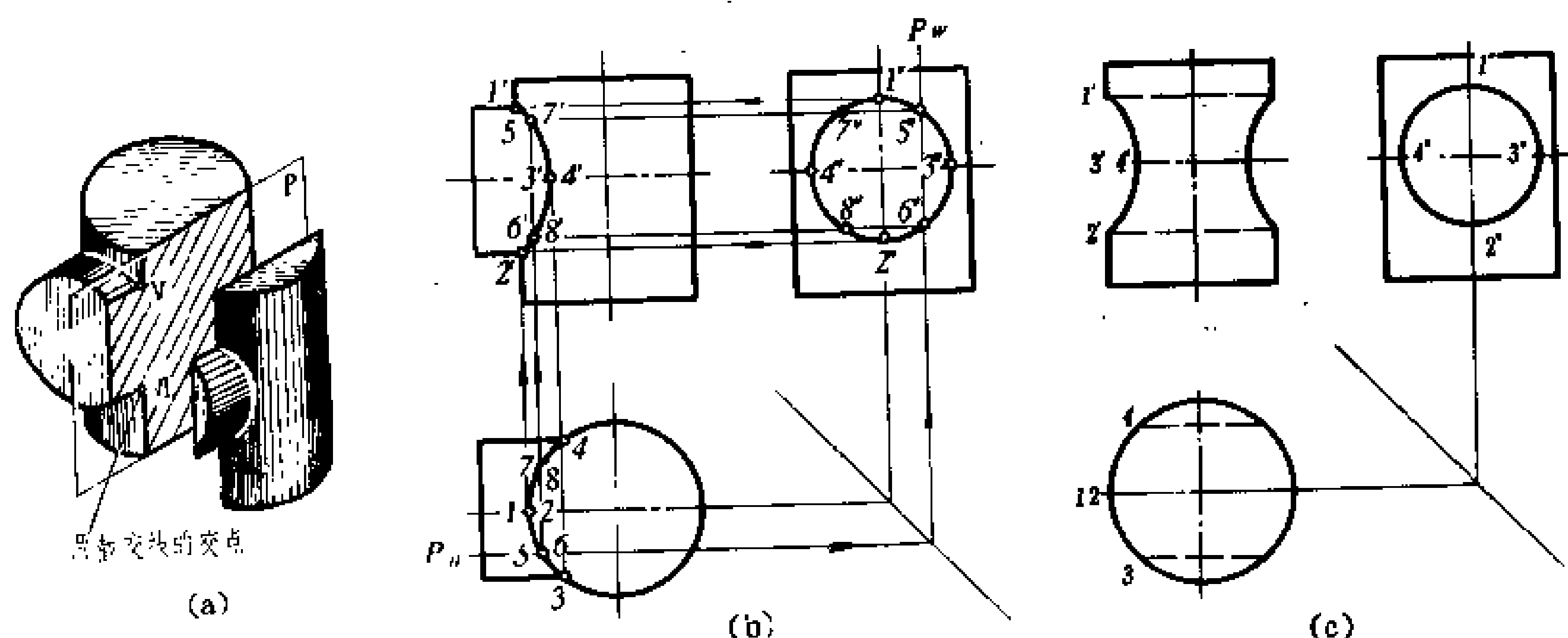


图 3-27 圆柱与圆柱相贯

分析

两圆柱的轴线是垂直相交，相贯线是空间封闭曲线，且前后对称。相贯线的水平投影积聚在直立圆柱的水平投影的圆上。侧面投影积聚在水平圆柱的侧面投影的圆上，因此，只要作出相贯线的正面投影。

作图

(1) 求特殊点。相贯线的最高点 Ⅰ 和最低点 Ⅱ 的正面投影为两圆柱面的转向轮廓素线的交点 1′ 和 2′。由于相贯线前、后在正面投影上重影，故点 Ⅰ 和 Ⅱ 也是相贯线的最左两点。相贯线的最前点 Ⅲ 和最后点 Ⅳ 的水平投影为水平圆柱面的转向轮廓素线与直立圆柱的水平投影的相交点 3 和 4，也是相贯线上的最右点。侧面投影 1″，2″，3″，4″ 均在水平圆柱面的侧面投影的圆上。由两个投影即可求得正面投影上的 3′ 和 4′。

(2) 求一般点。为了光滑连接相贯线的曲线，还应适当作出相贯线上的一般点。选择正平面 P 为辅助平面，它与两圆柱的截交线都是两条平行直线，如图 3-27a 所示，这两条截交线的交点即为相贯线上的点。作平面 P 的 P_H，P_W 使与两圆柱相交，作出两截交线的正面投影，它们的交点为 5′ 和 6′。同理，可作一系列的辅助平面，就可作出一系列相贯线上的点的正面投影。此例亦可采用水平面作为辅助平面。

(3) 判别相贯线的投影可见性原则，凡参加相贯的两立体的表面在该投影面上如均为可见时，则由该两立体表面形成的相贯线为可见。反之（含有一个立体表面不可见时）则相贯线为不可见。若相贯线的投影位于有积聚性的面上时，则不必判别其可见性，总是画成实线，如本例的水平投影和侧面投影，相贯线的投影都是积聚在圆上。而正面投影，相贯线 1′5′3′6′2′ 为可见，而 1′7′4′8′2′ 为不可见，因前后对称，相贯线的不可见部分与可见部分重影。

(4) 依次用曲线光滑地连接回转体上相邻两素线上的共有点，即 Ⅰ Ⅴ Ⅲ Ⅵ Ⅱ 顺序，可得其相贯线的正面投影。

图 3-27c 为圆柱上开圆柱孔的相贯线。作法同上。但应注意所开圆柱孔不可见的转向轮廓线为虚线。

例 3-18　如图 3-28，试求圆柱与圆锥台的相贯线。

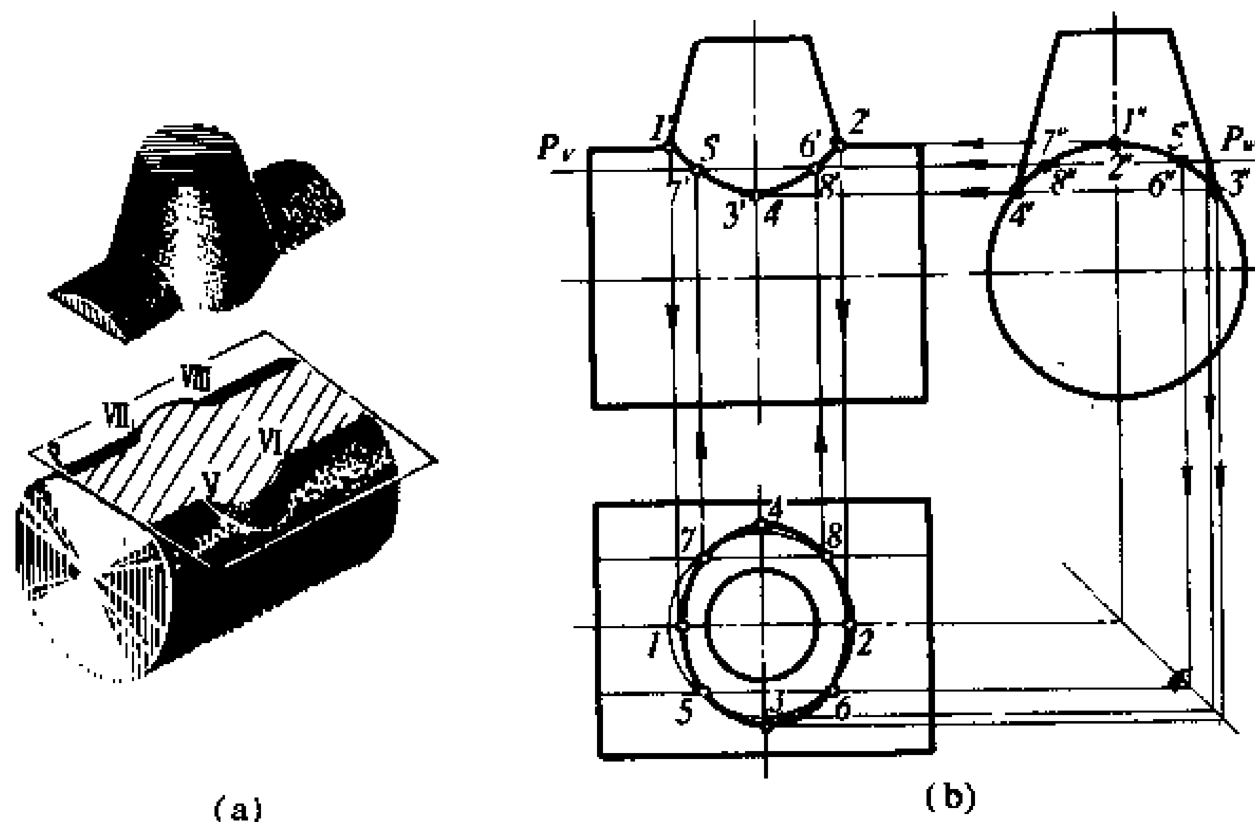


图 3-28　圆柱与圆锥台的相贯线

分析

图中圆柱和圆锥台的轴线垂直相交，为全贯，相贯线通常是一封闭的空间曲线，前后、左右对称。由于圆锥台轴线是铅垂线，圆柱轴线是侧垂线，所以相贯线的侧面投影积聚在圆柱面的侧面投影的圆上，只要作出相贯线的正面投影和水平投影。在正面投影上相贯线前后重影为一曲线，在水平投影上为一封闭曲线。

作图时，选择水平面作为辅助平面最为适宜。它与圆锥台的截交线为圆，与圆柱的截交线为两条平行直线，两截交线的水平投影均反映实形，它们的交点即为相贯线上的点。

作图

(1) 求特殊点。相贯线上最高点 Ⅰ 和 Ⅱ 两点，由侧面投影可以确定为 1″(和 2″互相重影)，其正面投影是圆柱与圆锥台两转向轮廓素线的交点为 1′ 和 2′，由此作得水平投影 1 和 2。Ⅰ 和 Ⅱ 两点也是相贯线上最左点和最右点。相贯线上最低点可由侧面投影确定为 Ⅲ 和 Ⅳ 两点，它们的正面投影为 3′(和 4′互相重影)，并可求得水平投影 3 和 4，Ⅲ 和 Ⅳ 两点也是相贯线上的最前点和最后点。

(2) 求一般点。可选择水平面 P 为辅助平面，它与圆锥台的截交线为圆，与圆柱的截交线为两条平行直线，它们的水平投影反映实形，如图 3-28b 所示，两截交线的相交点为 5、6、7、8 即相贯线上的四点，然后作得它们的正面投影。如此可作一系列水平辅助平面，求得一系列相贯线上的点。

(3) 判别相贯线的可见性。

正面投影：相贯线的正面投影是由前半个圆柱和前半个圆锥台相贯而成，而这两部分表面的正面投影均为可见，所以相贯线亦可见。因为相贯线前后对称，由后半个圆柱和后半个圆锥台形成的不可见相贯线，与可见部分重影。

水平投影：因相贯线是由圆锥台和上半个圆柱相贯而成，而这两部分表面的水平投影均为可见，所以形成的封闭曲线的相贯线均为可见。

(4) 用曲线光滑地依次连接回转体上相邻两素线上的共有点，即以 Ⅱ Ⅵ Ⅲ Ⅴ Ⅰ 的顺序，可得到相贯线的正面投影和水平投影。

例 3-19 如图 3-29，试求圆柱与球的相贯线。

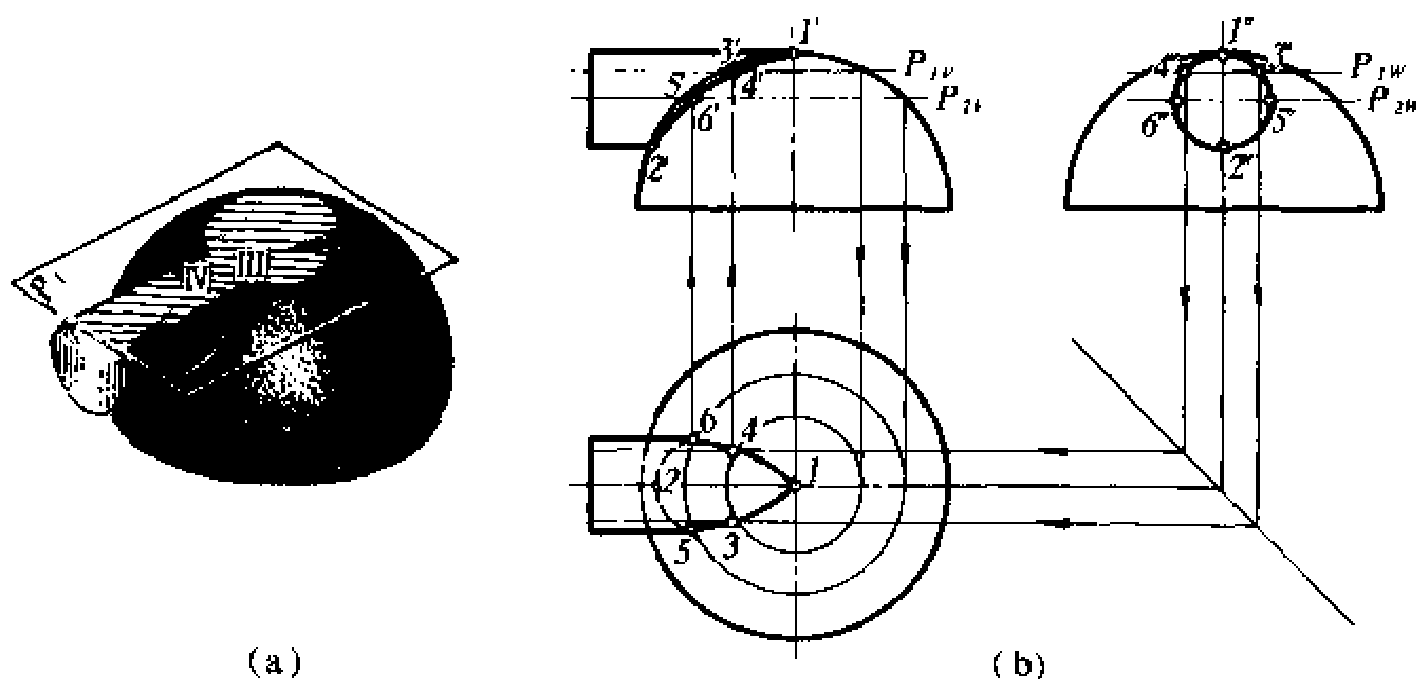


图 3-29 圆柱与球相贯

分析

圆柱与球的轴线垂直相交，为全贯，相贯线为封闭的空间曲线、前后对称。由于圆柱轴线为侧垂线，所以相贯线的侧面投影积聚在圆柱的侧面投影的圆上，只要求出相贯线的正面投影和水平投影。作图时，选择水平面 P 作为辅助平面。平面 P 与水平圆柱的截交线为两条平行直线，与球的截交线为圆，如图 3-29b。它们的水平投影均反映实形，两截交线的交点即相贯线上的点。

作图

(1) 求特殊点。由侧面投影可确定 1″ 和 2″，它们是相贯线上的最高点 Ⅰ 和最低点 Ⅱ，而正面投影为圆柱和球的正面转向轮廓素线的交点 1′ 和 2′，由此可求得水平投影 1 和 2。点 Ⅰ 和 Ⅱ 又是相贯线上的最右点和最左点。由侧面投影还可以确定相贯线上最前点 Ⅴ 和最后点 Ⅵ 为 5″ 和 6″，通过辅助平面 P_2 可以求得水平投影 5 和 6，以及正面投影 5′ 和 6′。

(2) 求一般点。选择水平面 P_1 作为辅助平面，首先在侧面投影中求得相贯线上的点 3″ 和 4″，然后根据平面 P_1 与圆柱以及平面 P_1 与球的截交线求得水平投影 3 和 4，正面投影 3′ 和 4′ 相互重影。如此可作一系列辅助平面，求得一系列相贯线上的点。

(3) 判别相贯线的可见性。

正面投影：相贯线的正面投影由前半个圆柱和前半个球相贯而成，而这两部分的表面的正面投影均为可见，所以相贯线也可见。因为相贯线前后对称，由后半个圆柱和后半个球形成的不可见相贯线、与可见部分重影。

水平投影：因相贯线由圆柱和上半个球相贯而成，而上半个圆柱和上半个球的水平投影为可见，所以相贯线 53146 为可见，但下半个圆柱的水平投影为不可见，所以相贯线 526 为不可见，分界点为 5 和 6。

(4) 用曲线光滑地依次连接回转体上相邻两素线上的共有点，即以 Ⅱ Ⅴ Ⅲ Ⅰ Ⅳ Ⅵ Ⅱ 的顺

序，可得到相贯线的正面投影和水平投影。

3.4.4　两回转体的特殊相贯线

在以下两种情况时，两回转体的相贯线为平面曲线（圆或椭圆）。

1. 球与回转体共轴相贯

它们的相贯线为一垂直于回转体轴线的圆，如表 3-7。

表 3-7　球与回转体共轴相贯

名　称	球与圆柱	球与圆锥
投影图		
相贯线	圆	圆

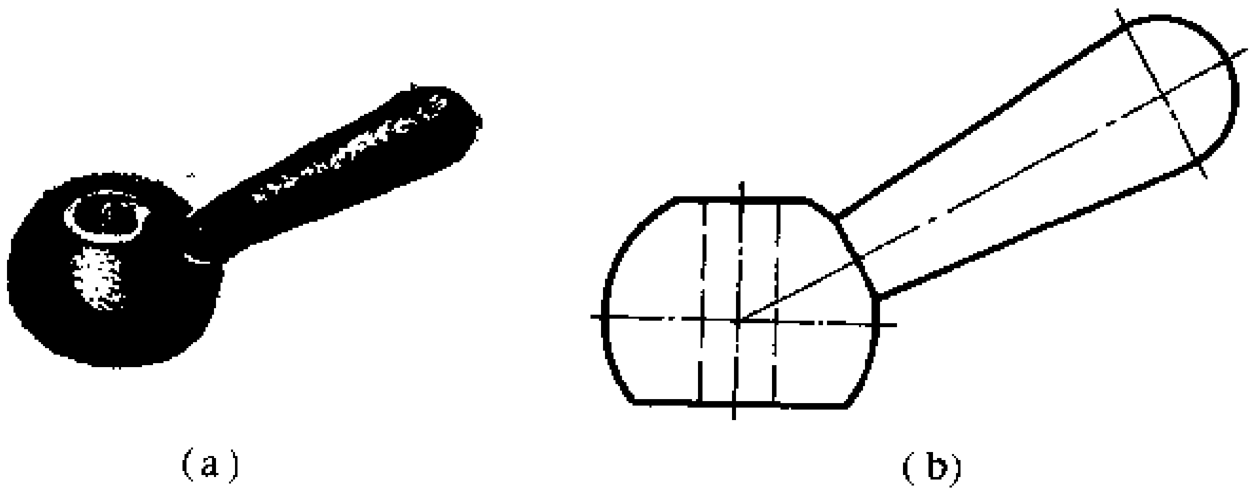
如表 3-7 中的投影图，相贯线在平行于回转轴线的投影面上的投影为一直线，该直线是球和回转体的转向轮廓素线两相交点的连线。

例 3-20　如图 3-30，试求部分球与圆锥共轴的相贯线。

分析

球与圆锥共轴相贯，它们的相贯线是垂直于圆锥轴线的平面圆，因此在平行于圆锥回转轴的投影面上的投影积聚成一直线。

作图



(a)　　　　(b)

图 3-30　球和圆锥共轴的相贯线

在正面投影中将球和圆锥的正面转向轮廓线的两相交点连成直线，即为相贯线的投影，如图 3-30b。

2. 公切于球的两回转体相贯

当两圆柱轴线相交、直径相等、且同切于一球时，它们的相贯线为两平面椭圆，如图 3-31 所示。在这种情况下，相贯线的正面投影积聚成直线。

当圆柱与圆锥的轴线相交、且同切于一球时，它们的相贯线为两平面椭圆，如图 3-32 所

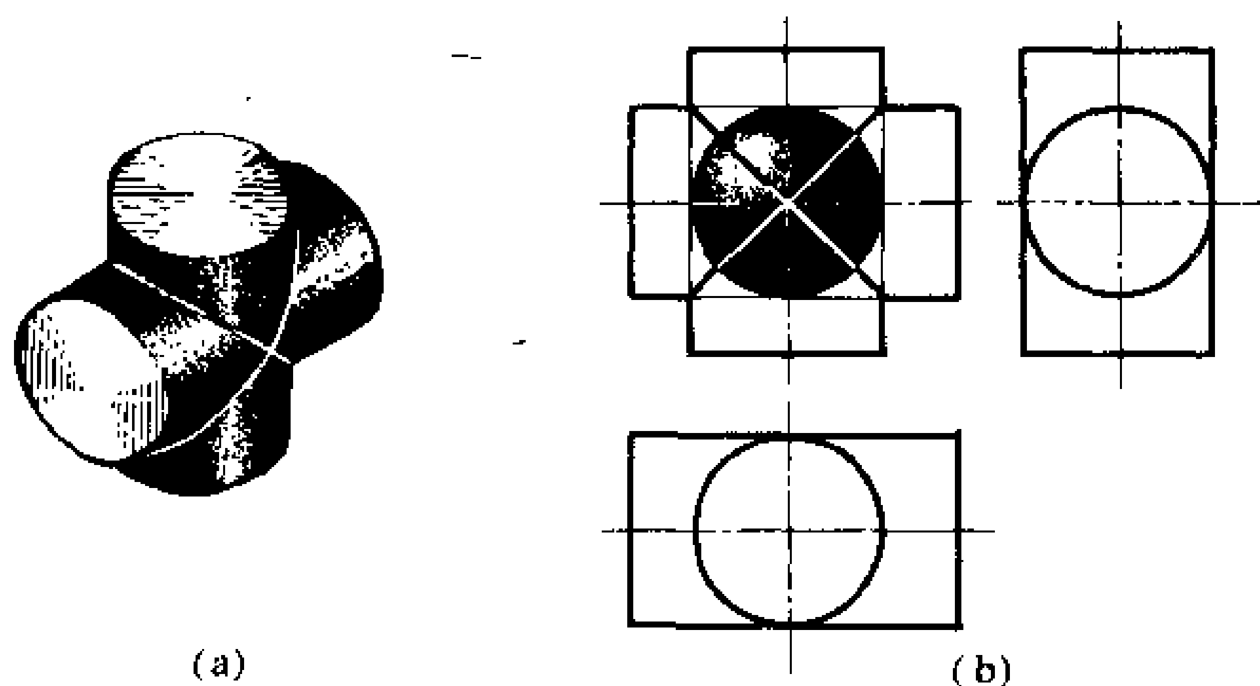


图 3-31　两圆柱同切于球的相贯线

示。在这种情况下，相贯线的正面投影积聚成直线。

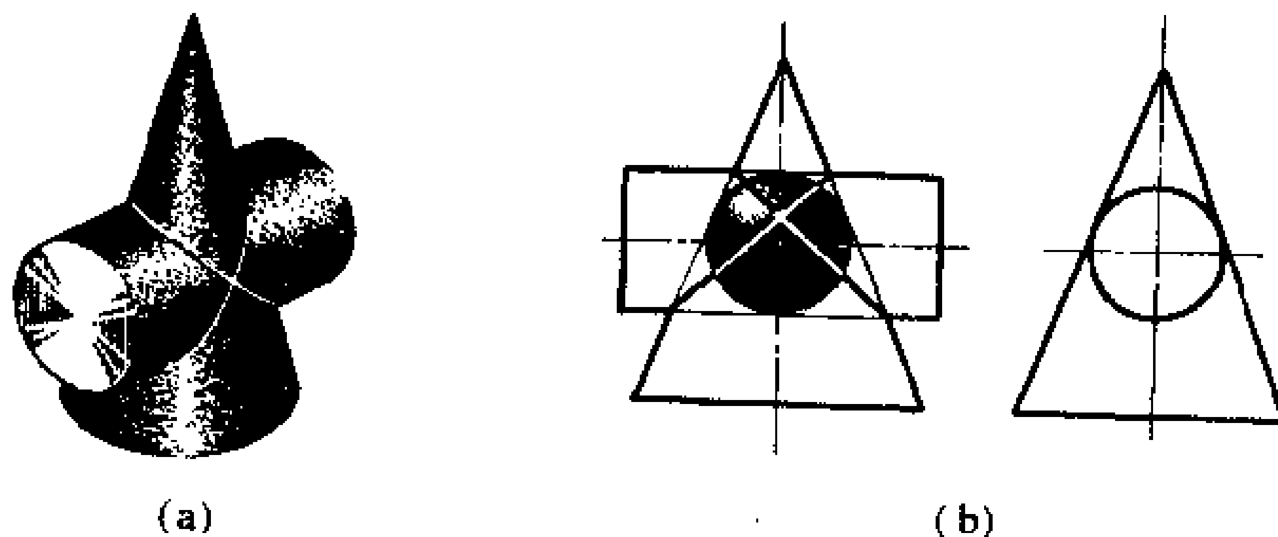
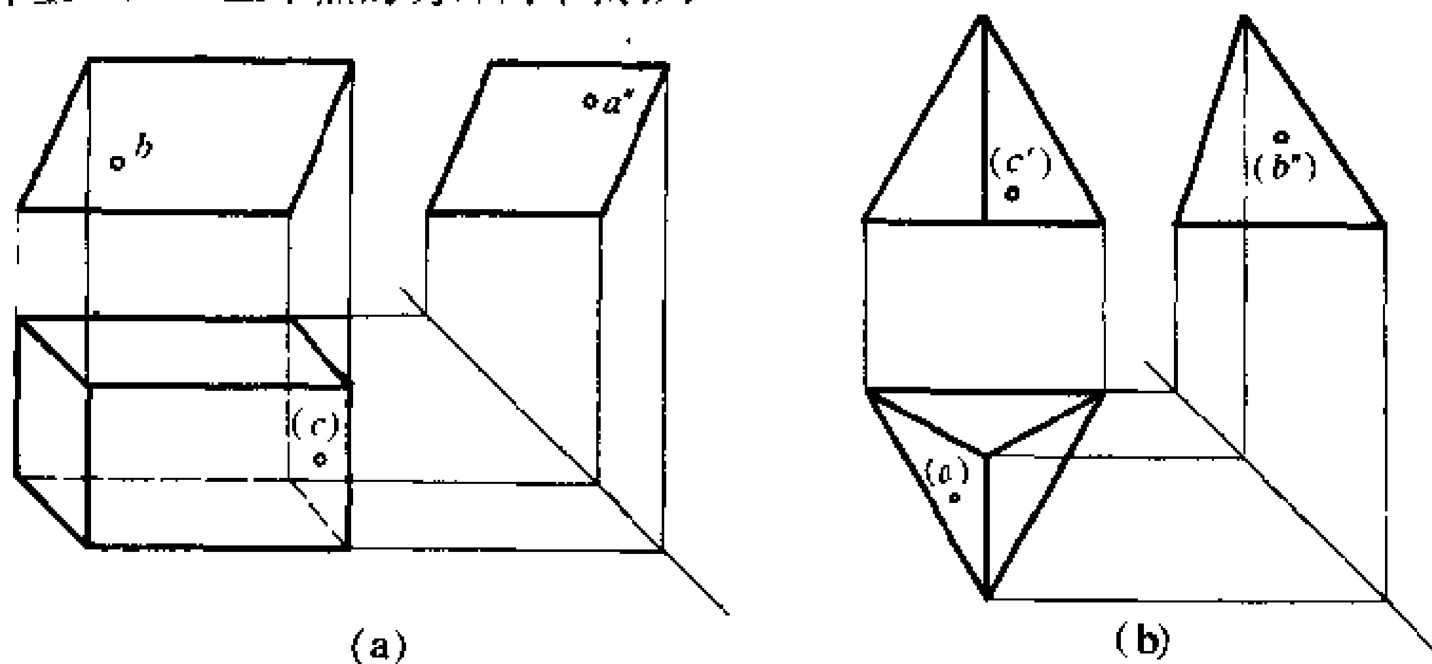


图 3-32　圆锥和圆柱同切于球的相贯线

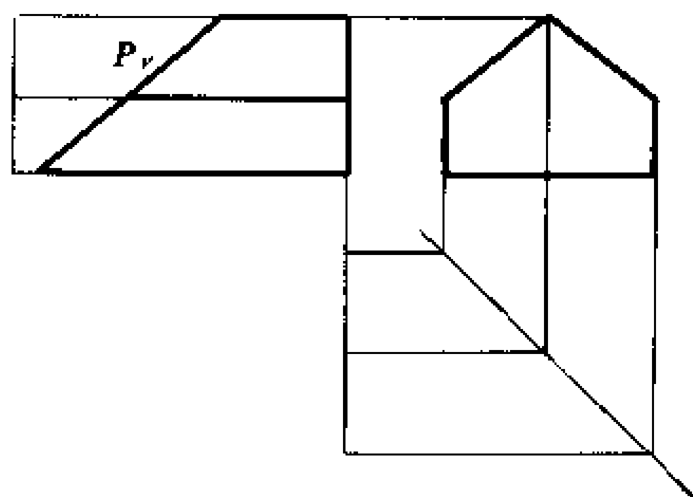
思 考 问 题

3.1　在平面立体上取点和在平面上取点的方法是否一样？试想一想，怎样作全附图 3-1 中两平面立体上 A、B、C 三个点的另外两个投影？



附图 3-1

3.2　带切截的平面立体应怎样画全其投影，附图3-2的平面立体被平面 P 切割，想一下它的截交线是几边形？在水平投影中截交线可见吗？

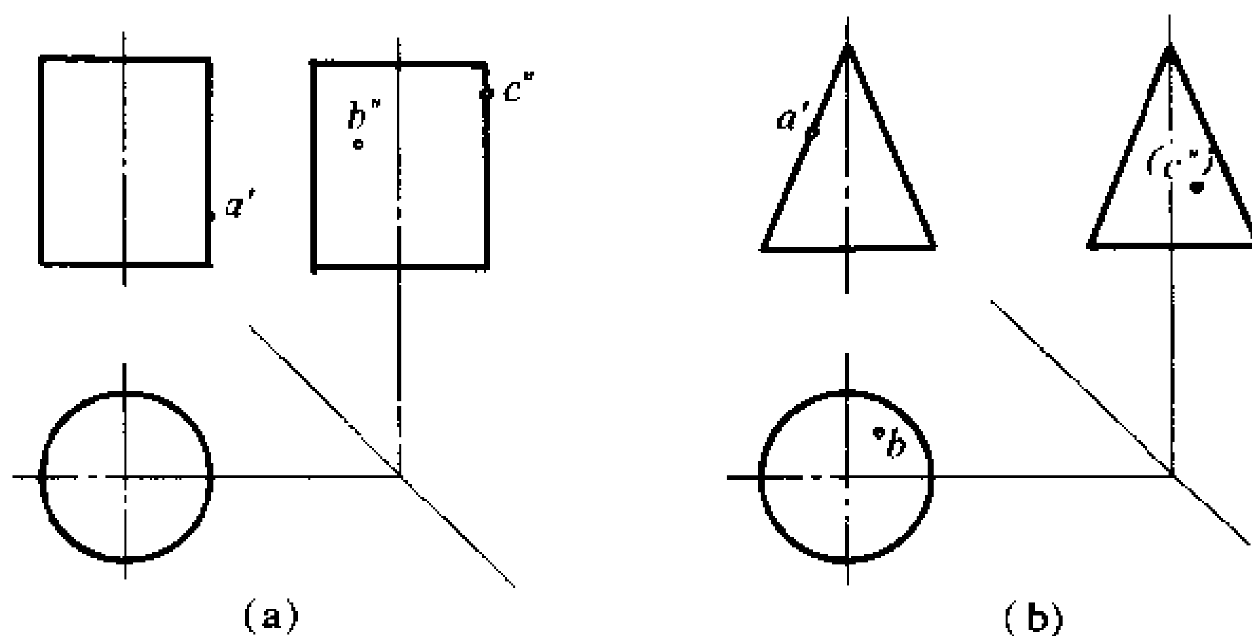


附图 3-2

3.3　试述回转曲面的形成及其投影特性。

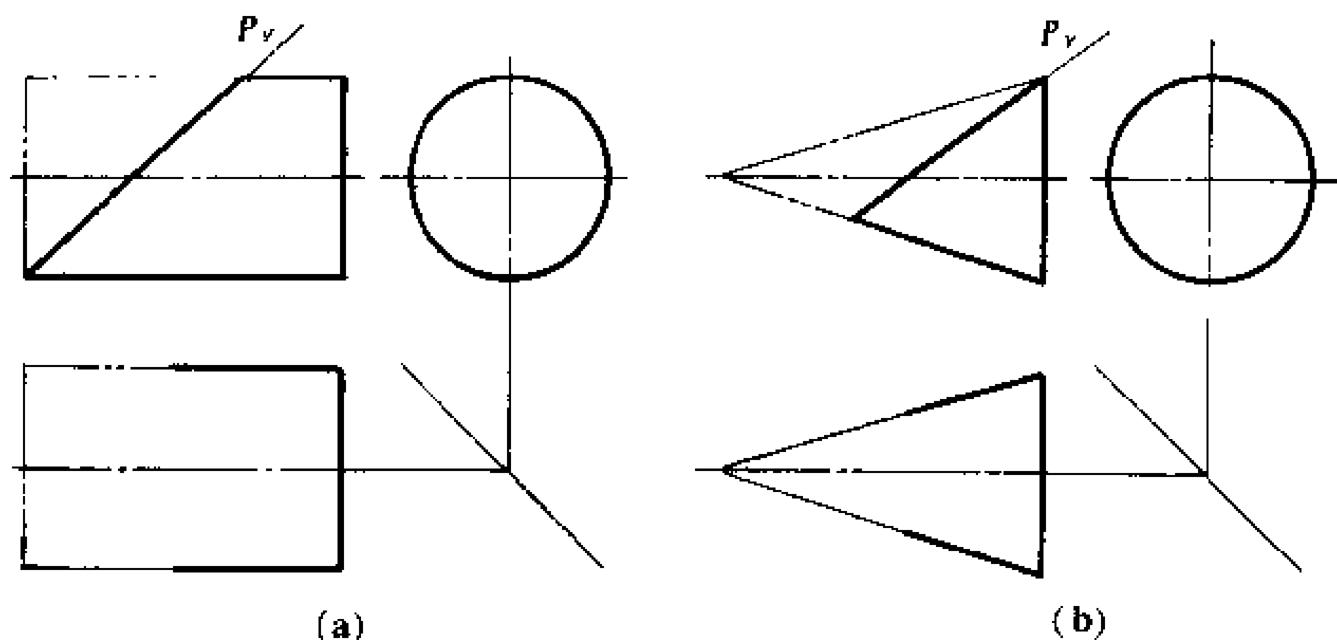
3.4　在三面投影体系中，圆柱、圆锥、球在某一投影面上的投影为转向轮廓素线时，应如何确定它们在其他两个投影上的对应位置？

3.5　在回转体上如何取点？附图 3-3 的圆柱、圆锥上已知 A,B,C 三点的一个投影，怎样能求得各点的其余两个投影呢？



附图 3-3

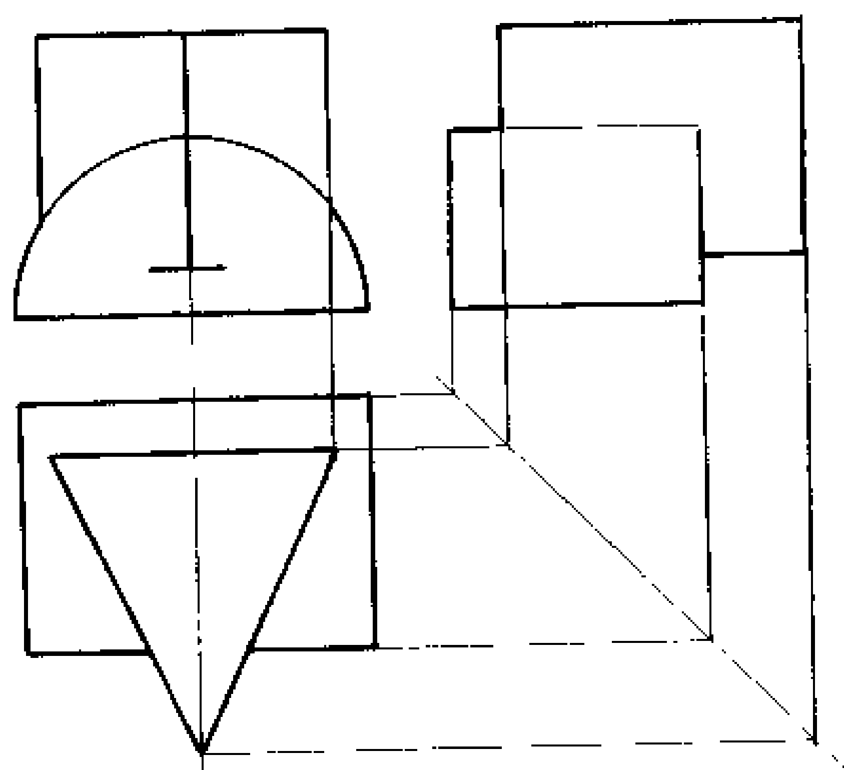
3.6　试述圆柱、圆锥、球的截交线的投影性质，附图 3-4 中圆柱、圆锥被平面 P 所截。如何作图能求得其截交线的水平投影？



附图 3-4

3.7　试述圆锥被各种位置平面截切后的截交线的变化。

3.8　试述平面立体与回转体的相贯线的性质及其投影特性，并分析附图 3-5 中半圆柱与三棱柱互贯时共有哪几段平面曲线(直线)组成空间的相贯线？应分为几步求得相贯线的投影？



附图 3-5

第 4 章　组合体的视图

内容提要　本章介绍组合体的形式——叠加式和切割式组合体的形体分析法，运用形体分析法画组合体视图和看组合体视图及组合体的线面分析法。

在工程制图中，根据有关标准和规定，用正投影法所绘制的物体的图形称为视图，正面投影称为主视图，水平投影称为俯视图，侧面投影称为左视图。

在工程制图中通常把由基本立体组合而成的物体称为组合体。

4.1　组合体的形体分析

4.1.1　组合体的组成形式

任何一个物体，以几何形状来分析，都是由基本立体按一定的相对位置组合而成，且其组成形式大体上可分为叠加和切割两种。如图 4-1，支架是由圆筒 Ⅰ、底板 Ⅱ 和支承板 Ⅲ 叠加而成；又如图 4-2，底架是由长方体上切割去 Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ 三部分而成。

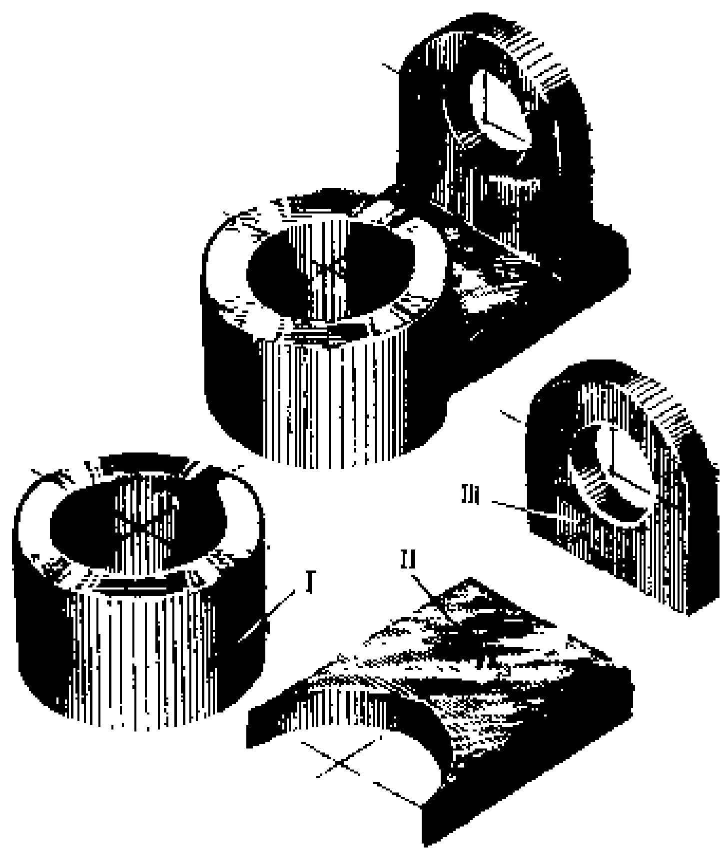


图 4-1　叠加组合体

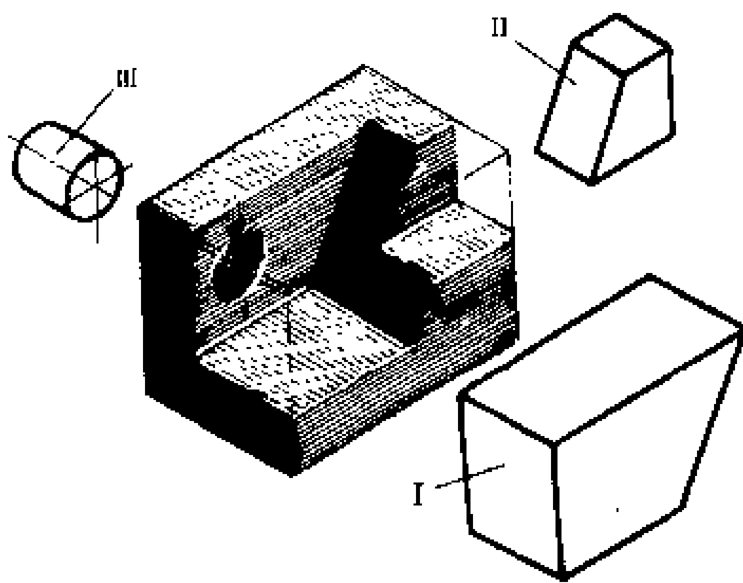


图 4-2　切割组合体

4.1.2　形体之间的表面连接关系

不管是由哪一种形式组成的组合体，画它们的视图时，都必须正确表示各基本立体之间的表面连接，可归纳为以下四种情况。

(1) 两形体的表面不共面时，两表面的投影之间应有线分开，如图 4-3 的主视图和左视图，图 4-4 的左视图。

(2) 两形体的表面相切时，该两表面虽不共面，但由于光滑过渡，故两表面投影之间不应画线，如图 4-3、图 4-4 的左视图。

(3) 两形体的表面共面时，该两表面投影之间不应画线，如图 4-4 的主视图和图 4-5 的左

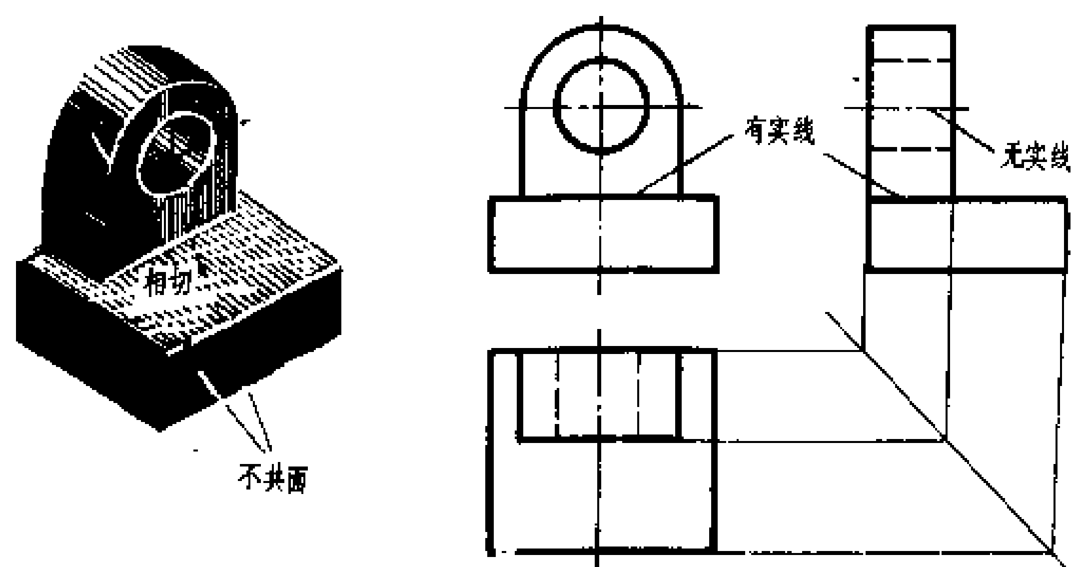


图 4-3　形体表面交线画法之一

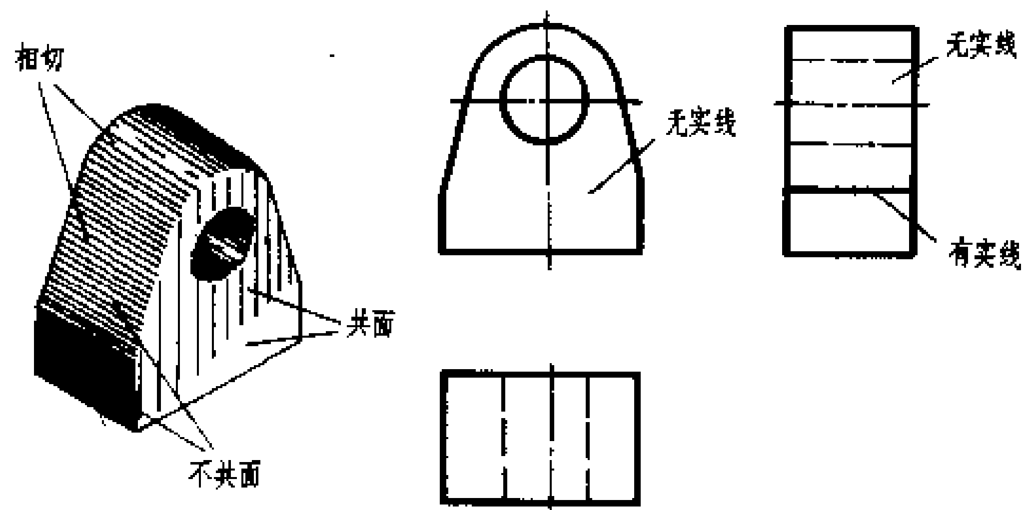


图 4-4　形体表面交线画法之二

视图。

(4) 两形体的表面相交时，两表面投影之间应画出交线的投影，如图 4-5 左视图上的相贯线(曲面与曲面相交)和截交线(平面与曲面相交)，以及图 4-6 的左视图上的截交线(平面与曲面相交)。

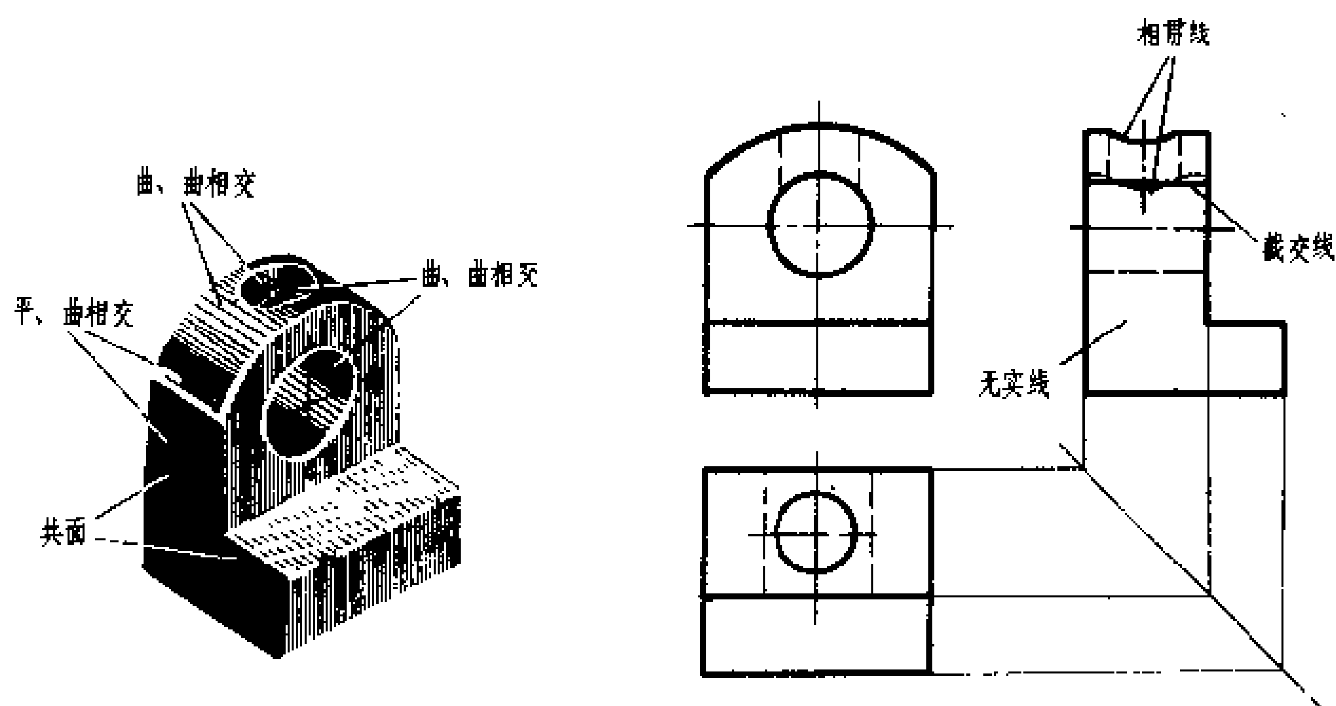


图 4-5　形体表面交线画法之三

4.1.3　组合体的形体分析法

一个组合体或者更为复杂的机件，都可分解成若干个基本立体。根据各基本立体之间的一

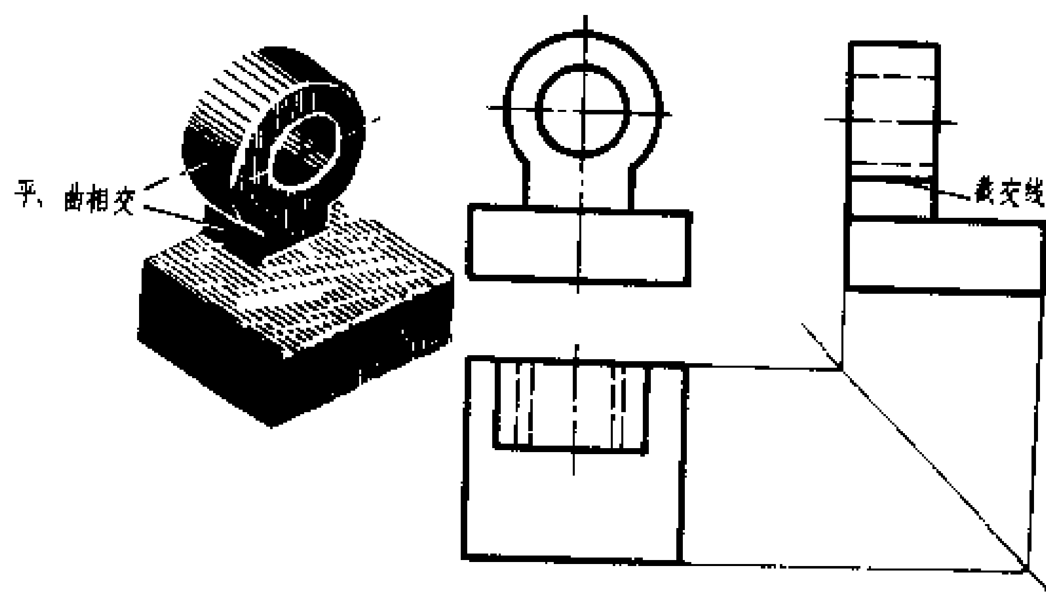


图 4-6 形体表面交线画法之四

定相对位置，从而组合成叠加、切割或二者混合的形式。在投影时，应根据各基本立体之间相对位置及其组成形式，正确地画出各形体之间表面连接的投影，清楚地表达出形体。在看投影时，只要根据各形体之间表面连接的投影特性，分别看懂组合体的各基本立体形状及其相对位置，就能理解形体的形状，增强空间的想象力。这种方法称为形体分析法。

在画图时，使用形体分析法，就可将复杂的形体，简化成若干个基本立体来完成。在看图时，使用形体分析法，就能从简单基本立体着手，看懂复杂的形状。

4.2 组合体视图的画法

画组合体视图时，首先要进行形体分析，在分析的基础上选择视图，特别是选择主视图，通常选择最能反映物体形状特征的一个投影作为主视图。此外，为了画图方便，一般是把组合体的主要表面或对称面放成与投影面平行，主要轴线与投影面垂直，具体画图时，先画由尺寸可以直接确定的主要形体和位置，然后画由主要形体来确定其他部分的形状和位置，并画出各形体表面连接关系，最后校核描深。画组合体视图步骤举例说明如下。

例 4-1 试画出如图 4-7 所示支架的三视图。

分析

用形体分析法分析支架，其组成形式为叠加、切割的混合。如图 4-8，支架的底板 Ⅰ 为四棱柱，支承板为四棱柱 Ⅱ 叠加半圆柱 Ⅲ。从总体来看，Ⅰ，Ⅱ 和 Ⅲ 之间为叠加的连接关系。但在一些局部又存在切割的情况，如底板 Ⅰ 上切去两个三棱柱的角，中间对称面上开槽切割成四棱柱加半圆柱的槽，故底板 Ⅰ 为切割形式。此外，Ⅱ 和 Ⅲ 在叠加对称处切去一圆柱。

选择视图

主要是选择主视图。按图 4-7 放置的位置，支架 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 叠接成 L 型，这是主要形状特征。因此，确定 S 方向作为主视图投影方向，并把底板 Ⅰ 的底面放成水平面位置。这时，俯视图上表示出底板切去的两个角和开槽的实形，左视图上表示支承板半圆柱和圆孔的实形，整个支架表达清晰完整。

作图步骤

具体作图步骤和画法见图 4-9。

(1) 按选定的主视图，部署三视图，画底面、中心线和对称线，如图 4-9a；

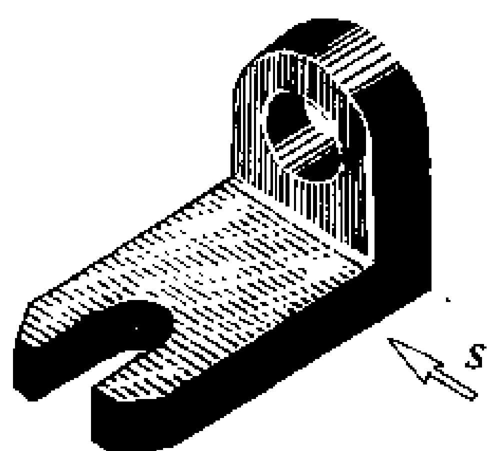


图 4-7 支架

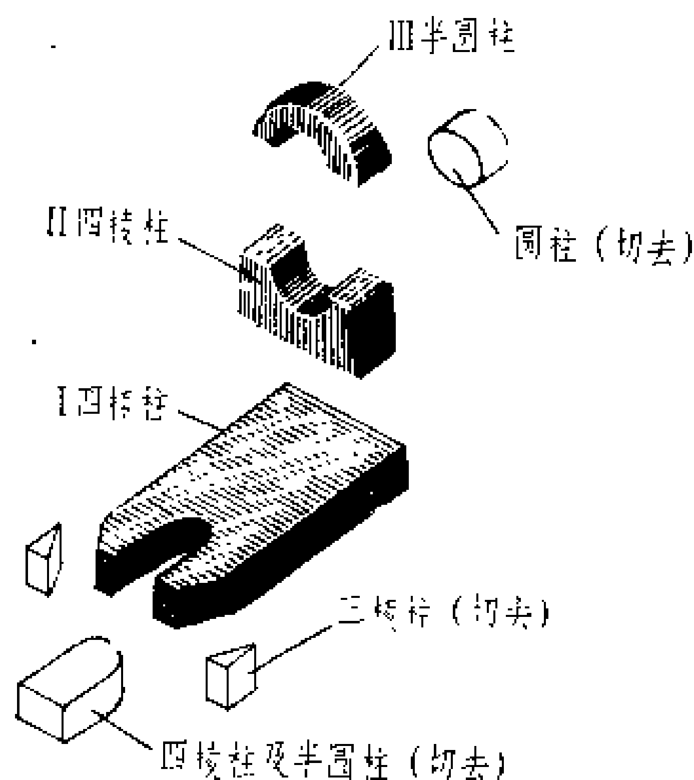
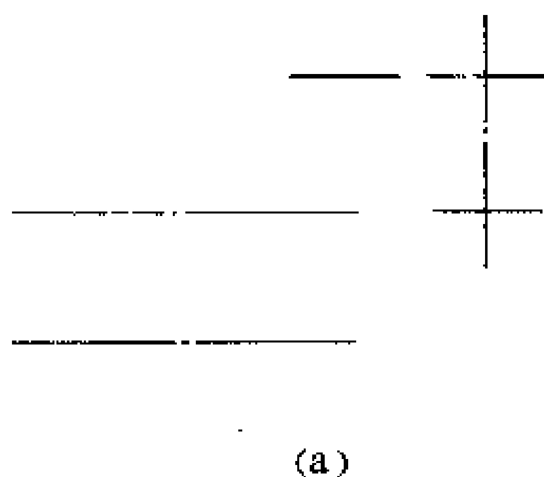
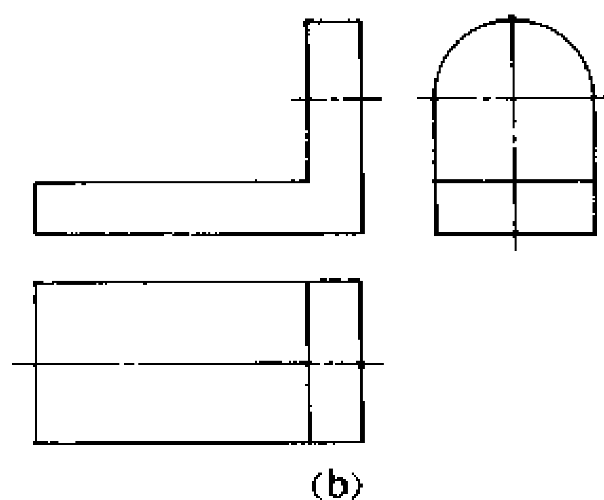


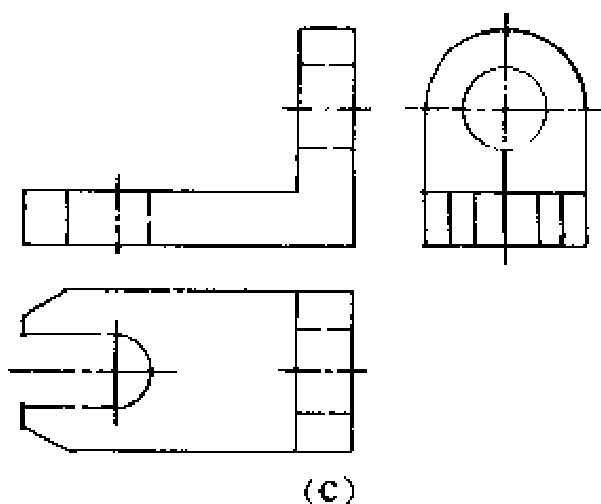
图 4-8 支架的形体分析



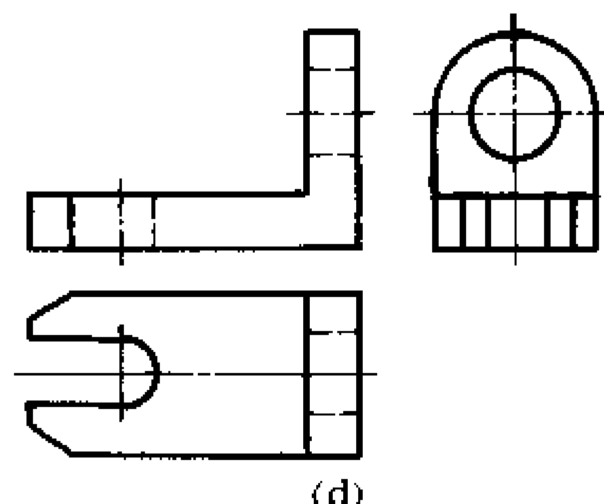
(a)



(b)



(c)



(d)

图 4-9 画支架三视图

(2) 画底板和支承板，如图 4-9b；

(3) 画底板和支承板上细部结构，当画底板上切去的槽和三棱柱时，应从反映实形的俯视图先作，然后完成主视图和左视图，如图 4-9c；

(4) 校核，描深，如图 4-9d。

例 4-2 试画出如图 4-10 所示塞块的三视图。

分析

塞块主要为切割式组合体，主体为正四棱柱体 Ⅰ，右边叠接部分圆柱体 Ⅱ，在对称面上切去垂直圆孔 Ⅲ 和水平圆孔 Ⅳ，左边上部先切去四棱柱 Ⅴ，然后切去三棱柱 Ⅵ，最后在对称面

处切去四棱柱 Ⅶ 的槽。

选择视图

为反映被切割的各个形体的形状特征及其相对位置，选择如图 4-10 的 S 方向，作为主视图投影方向。同时用俯视图和左视图来补充表达被切割部分的实形和相对位置。

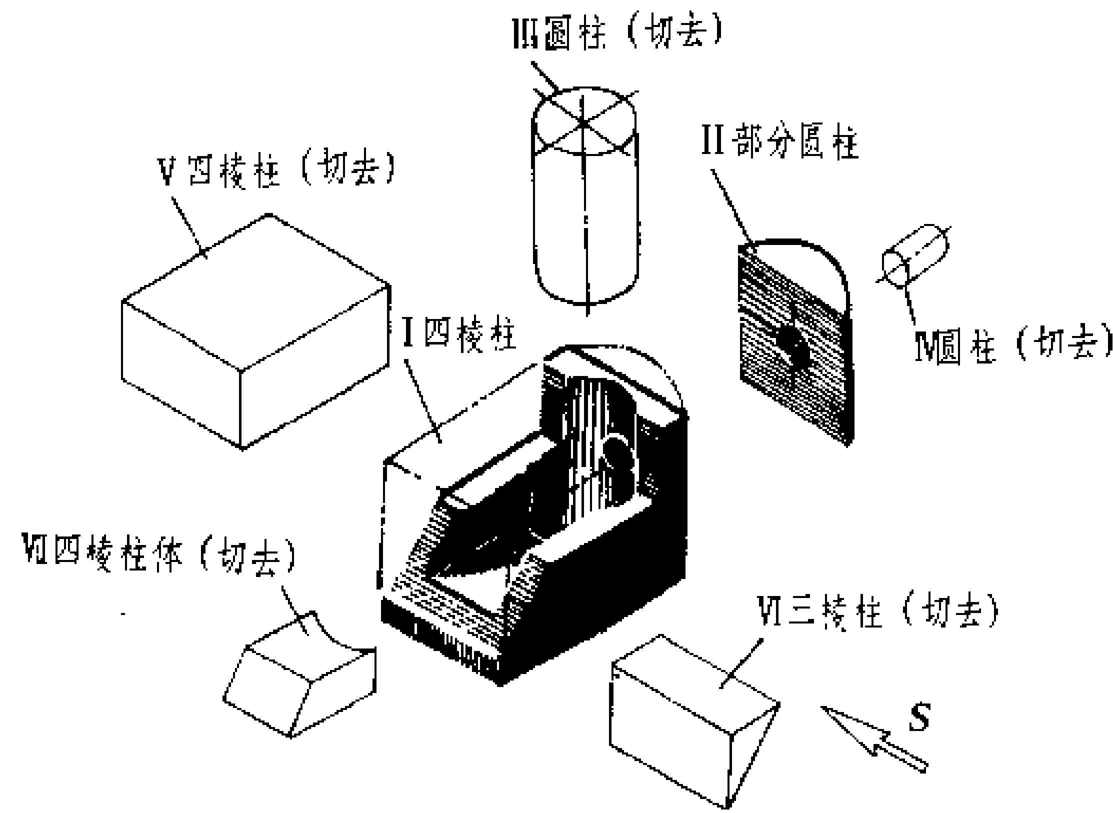


图 4-10　塞块的形体分析

作图步骤

具体作图步骤和画法见图 4-11。

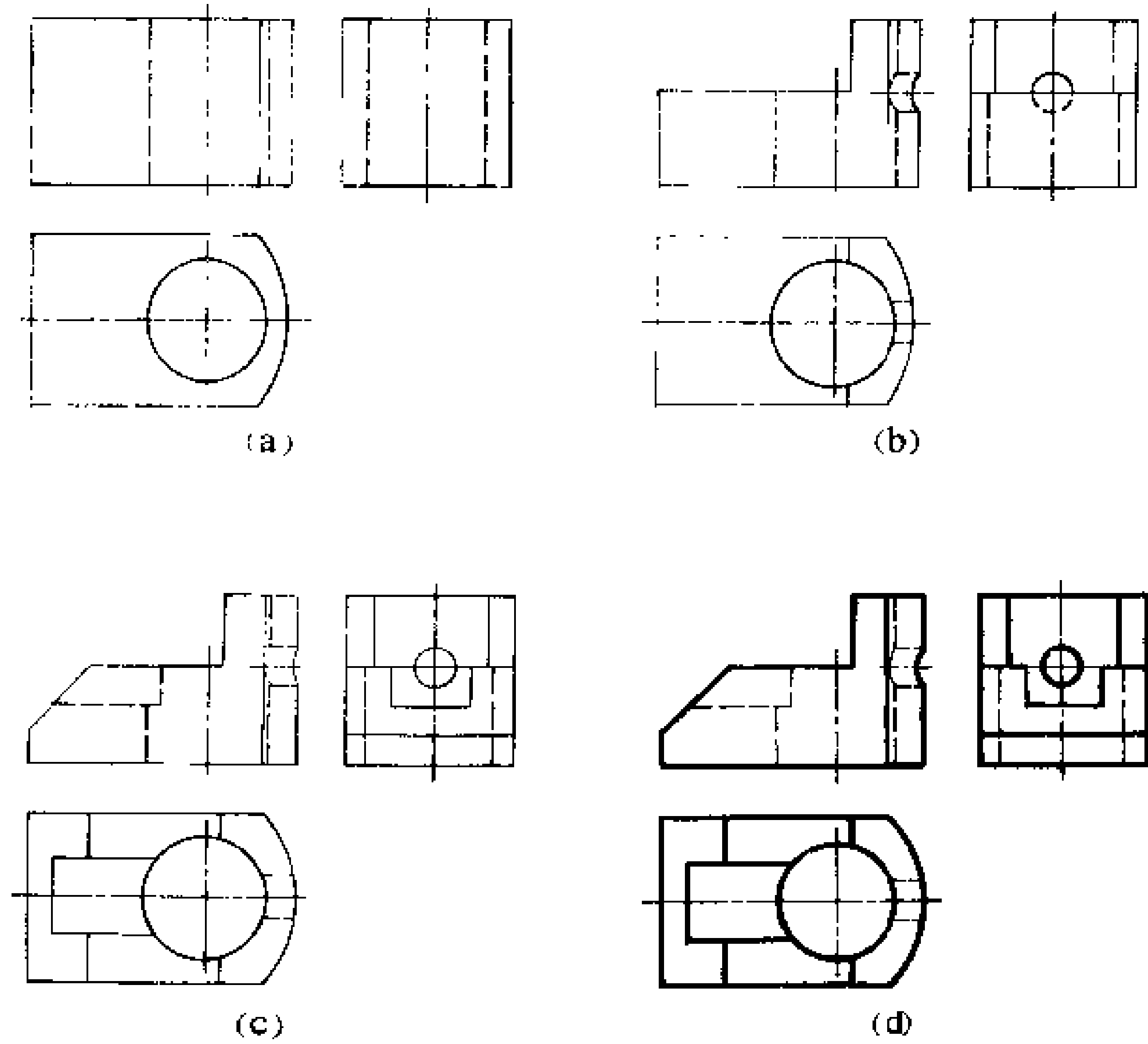


图 4-11　画塞块的三视图

(1) 按选定的主视图部署三视图的位置，画四棱柱 Ⅰ、部分圆柱 Ⅱ 和垂直圆孔 Ⅲ，如图

4-11a；

(2) 画左上方被切的四棱柱 Ⅴ 和水平圆孔 Ⅳ，如图 4-11b；

(3) 画左上方被切的三棱柱 Ⅵ 及四棱柱 Ⅶ，如图 4-11c；

(4) 校核，描深，如图 4-11d。

通过以上两例可以体会到画物体视图的过程中，必须深刻理解“物”与“图”的对应关系，而对应关系的重点是通过形体分析来达到，经过多次这样的反复练习，建立起由空间到平面的投影概念，从而逐步提高画图能力，也为下一节看图打下基础。

4.3 组合体视图的看法

根据视图想象出组合体空间形状的全过程称为看图。上一节的画图是由“物”到“图”，而看图是由“图”到“物”，这两方面的训练都是为了培养和提高制图的空间想象能力和构思能力，并且它们是相辅相成、不可分割的。因此看图也是本课程的主要内容，必须逐步掌握。

看图的方法也是以形体分析法为基本方法，对于一些复杂的视图可用线面分析法来帮助看懂。具体地讲，就是用形体分析法看清楚构成组合体的各个基本立体的形状，以及它们之间的相对位置，从而确定组合形式，想象出整个组合体的空间形状，有必要时，用线而分析法看懂和画出局部的形状。

4.3.1 看组合体视图的基本方法

由于组合体视图是按照投影规律画的，所以运用形体分析法看图时，必须符合以下几点：

1. 应用正投影规律

看图的理论基础是前两章所介绍的基本立体的投影以及各种位置的点、线、面的投影。而看图是将这些投影理论基础进一步的应用。如图 4-12，在运用形体分析法时，是以主视图与其对应的俯视图 1 和左视图 *a* 按正投影规律看图，从而得出组合体 *A* 的形状。这里特别要提出的是立体的表面多数是处于垂直或平行于某一投影面的位置，故其投影一般积聚成线。

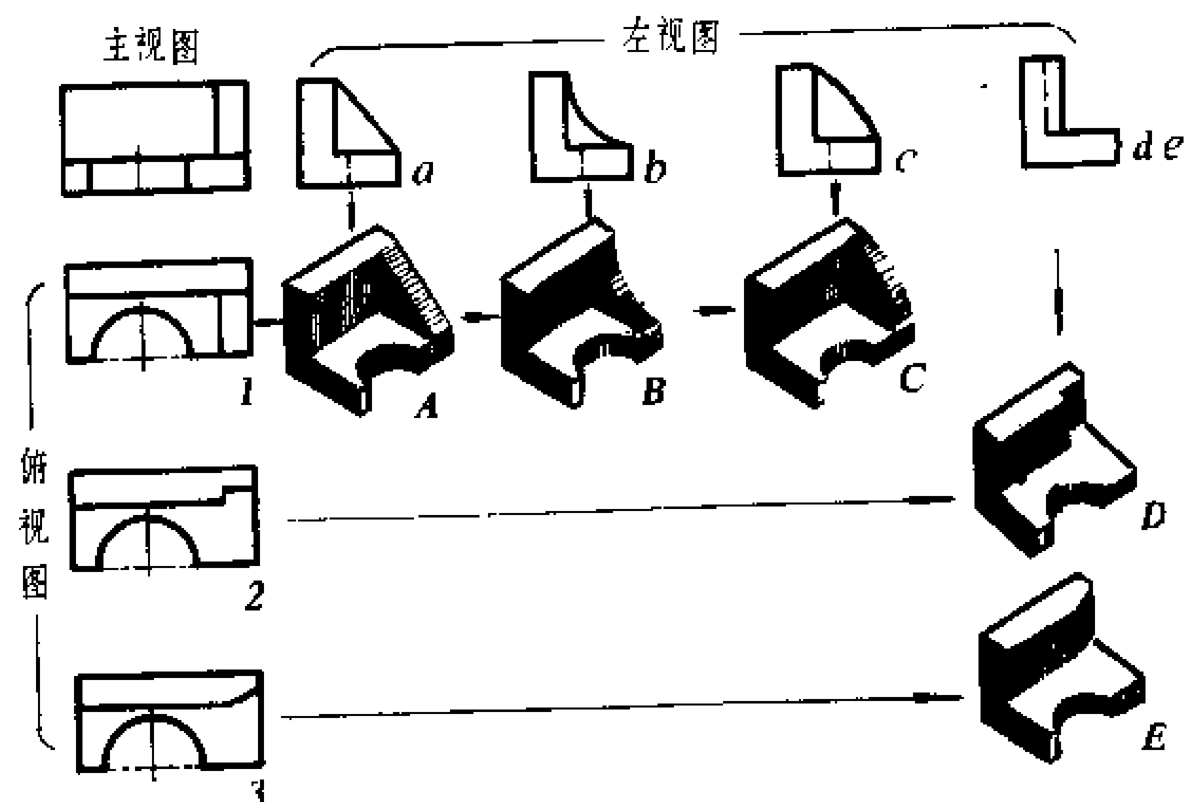


图 4-12 运用投影规律看组合体视图

2. 联系各个视图之间的投影关系

一个视图是不能确定物体的形状的，因此看图时，如果只看一个视图，就无法确认物体的

形状，而必须把已知物体的各个视图，按正投影方法联系起来，进行分析、想象。如图 4-12，例如主视图若与俯视图 1 和左视图 b 相结合成三视图时，就确定为组合体 B。余类推。

3. 注意视图上表面连接的图线

在组合体的视图中，各基本立体的相对位置，取决于它们之间的表面连接关系。通过分析这些连接关系的图线，就可以确定各基本立体的形状及其相对位置，这将有利于看懂形体。如

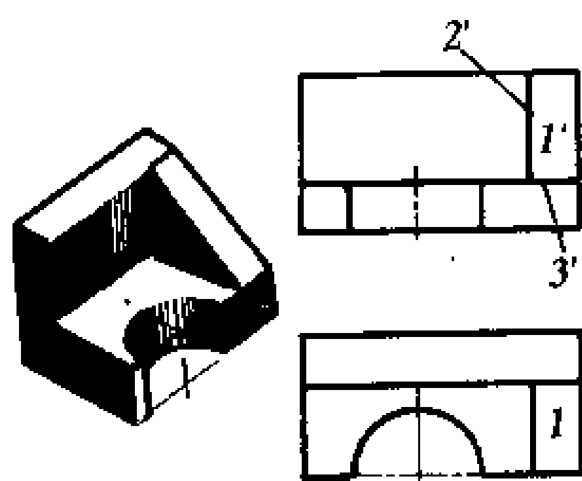


图 4-13 视图中表面连接的分析

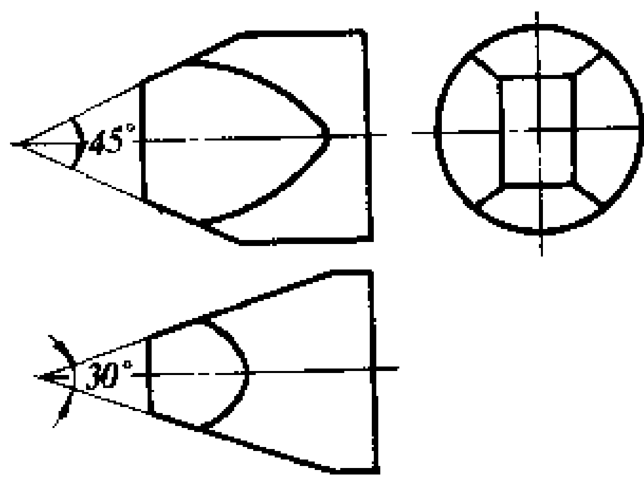
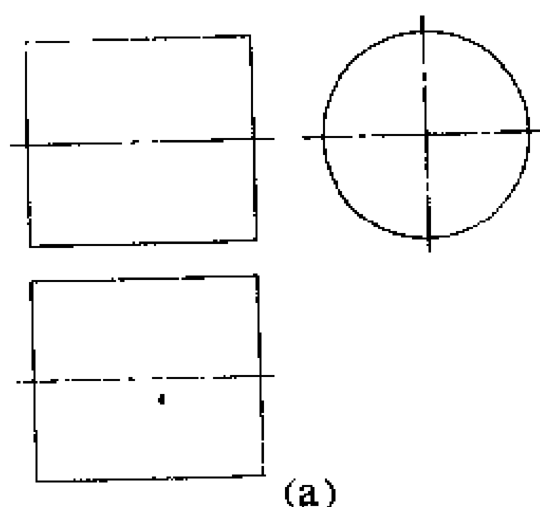
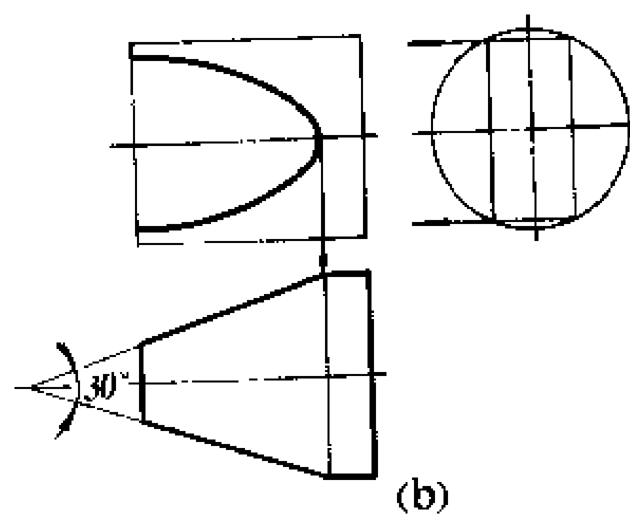


图 4-14 线面分析看视图

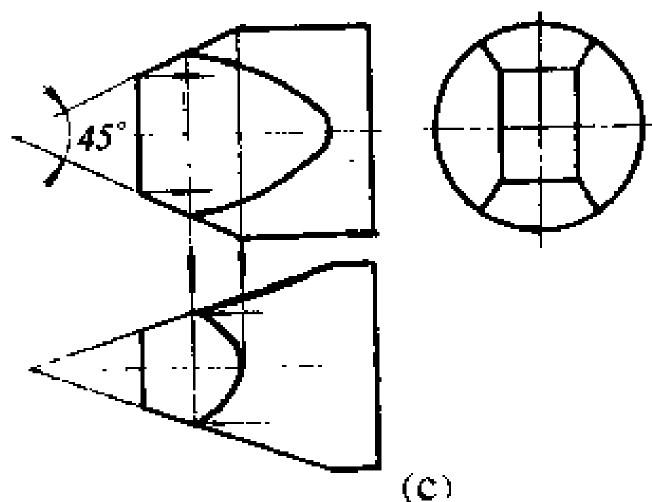
图 4-13 主视图中 1′ 的长方形，它与垂直板的连接线为 2′，与水平板的连接线为 3′，因此它们不在一个面上。再通过投影可以找到该长方形在左视图中积聚为直线 1″，在俯视图中为长方形 1，这样可以确定它是三棱柱上垂直于侧面的一个棱面，而该三棱柱位于垂直板之前，水平板之上且处于右边的位置。通过如此分析，就能把各个基本立体的形状和相对位置看清楚。所以，用形体分析法分析视图是看图中的重要环节之一。



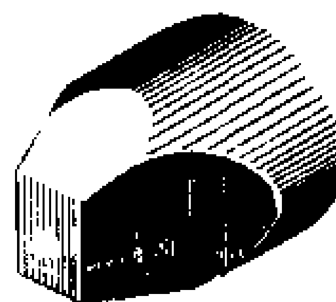
(a)



(b)



(c)



(d)

图 4-15 看图的线面分析法

4. 运用线、面投影特性和表面交线特性

通常，在视图中由图线围成的一个封闭线框代表形体上一个面的投影，而带有斜线和非圆曲线的线框，则表示形体上有倾斜位置的面以及有表面交线的存在。要看懂这部分形状，应运用已学过的线、面投影和表面交线投影来分析形体的表面形状、相对位置和投影特性，这种方法称为线面分析法。如图 4-14，在主视图和俯视图中分别有两条夹角为 45° 和 30° 的斜线，同时还有曲线。要看懂该形体，可按图 4-15，应用线面分析法来解决。步骤如下：

(1) 主体为一圆柱体，如图 4-15a；

(2) 两条 30° 直线表示铅垂面，对应于主视图上的曲线线框为圆柱上的截交线，如图 4-15b；

(3) 两条 45° 直线表示正垂面，对应于俯视图上曲线线框为圆柱上的截交线。正垂面与铅垂面相交成一般位置直线，共四条，如图 4-15c；

(4) 通过线面分析了解整体形状，如图 4-15d；

4.3.2 看组合体视图的步骤

通过以下四例说明一般看图步骤。

例 4-3 看滑座三视图，如图 4-16。

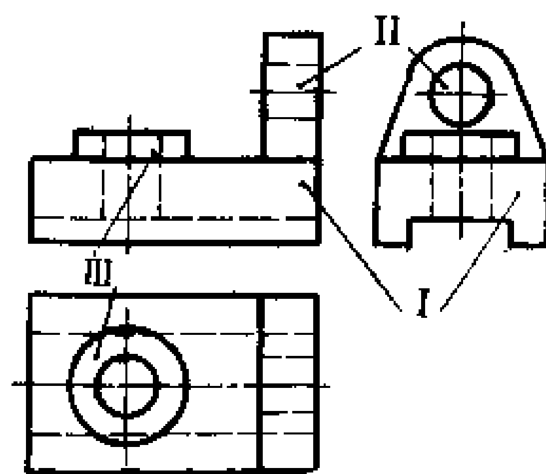


图 4-16 滑座三视图

看视图，分形体

(1) 明确已知视图之间的关系。

(2) 从主视图入手，联系其他视图，确定基本立体为 Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ。

对投影，定形状

运用正投影规律，看懂和想出各个组成部分的形状和位置，见图 4-17。

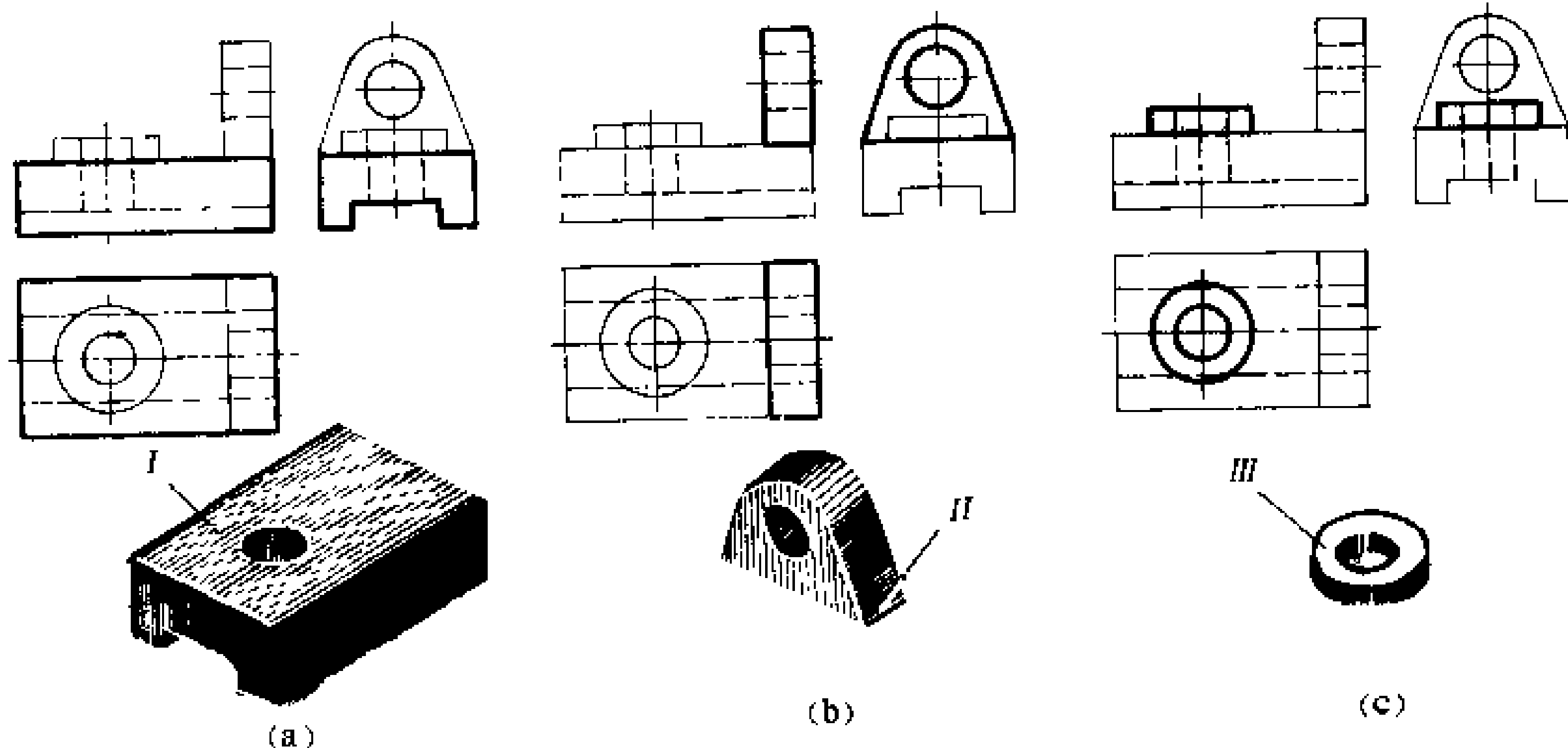


图 4-17 对投影、定形状

(1) Ⅰ 长方四棱柱，在对称面上开垂直圆孔，下方开四棱柱长槽，如图 4-17a。

(2) Ⅱ 棱柱叠加部分圆柱，在对称面上开水平圆孔，如图 4-17b。

(3) Ⅲ 开孔的圆柱，如图 4-17c。

合起来，想整体

分析各基本立体的相对位置以及两形体之间的连接关系，想象出整体的空间形状，如图 4-18。

为了提高画图和看图能力，可以通过在已知物体的两个视图条件下，经过看图，然后画出第三视图的练习。

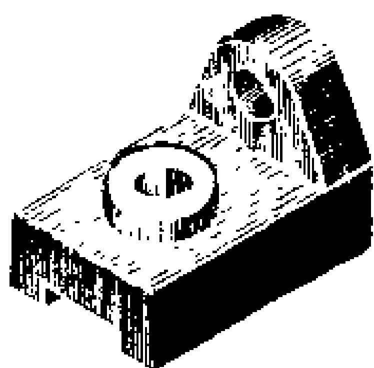


图 4-18　滑座立体图

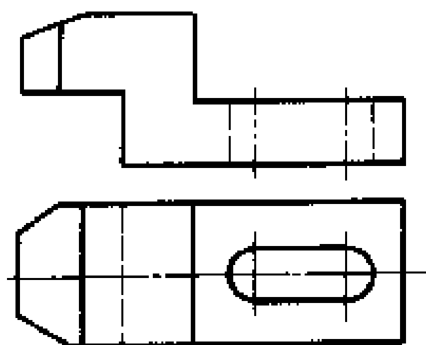


图 4-19　压板

例 4-4　试画出压板的左视图，如图 4-19。

看压板的步骤和画出左视图的方法，见图 4-20。

(1) 运用形体分析法，可确定“压板”主体为 Z 字形板，且在右边对称面上开一长圆孔，如图 4-20a；

(2) 左边头部形体，由于在主视图上有斜线，对应俯视图上的线框，确定 P 面为正垂面，如图 4-20b；

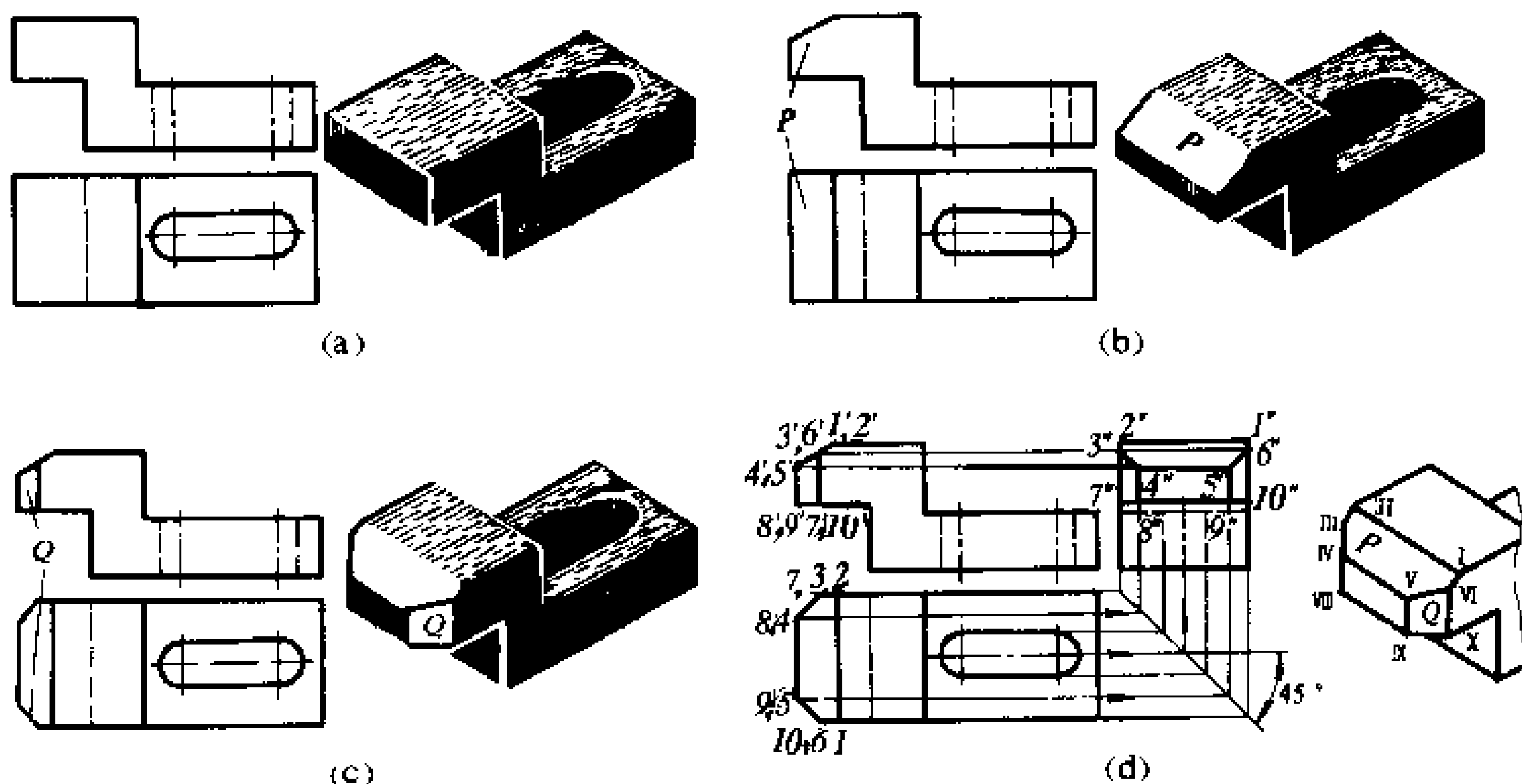


图 4-20　看视图并作第三视图

(3) 俯视图上的两条对称斜线，对应在主视图上的四边形线框，确定 Q 面为铅垂面，如图 4-20c；

(4) 作出压板的左视图，如图 4-20d 所示。先画主体 Z 字形，再画正垂面 P — Ⅰ Ⅱ Ⅲ Ⅳ Ⅴ Ⅵ 和画铅垂面 Q — Ⅴ Ⅸ Ⅹ Ⅵ，最后画出长圆孔的投影；

(5) 校核，描深。

画图是看图的检验，而看图是画图的必要过程，两者相辅相成，密切联系。通过看图与加画第三视图的练习，必将有利于提高空间想象力。

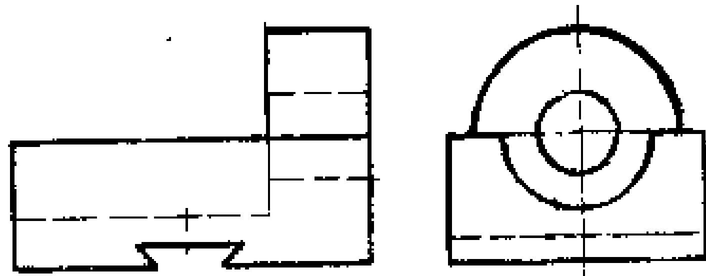


图 4-21　拖板

例 4-5　试画出拖板的俯视图，如图 4-21。

看和画拖板的步骤如图 4-22 所示。

(1) 对投影、分形体，如图 4-22a；

(2) 看、画形体 Ⅰ，如图 4-22b；

(3) 看、画形体 Ⅱ，如图 4-22c；

(4) 看、画形体 Ⅲ，如图 4-22d；

(5) 看、画形体 Ⅳ，如图 4-22e；

(6) 看、画形体 Ⅴ，综合起来成整体，如图 4-22f。

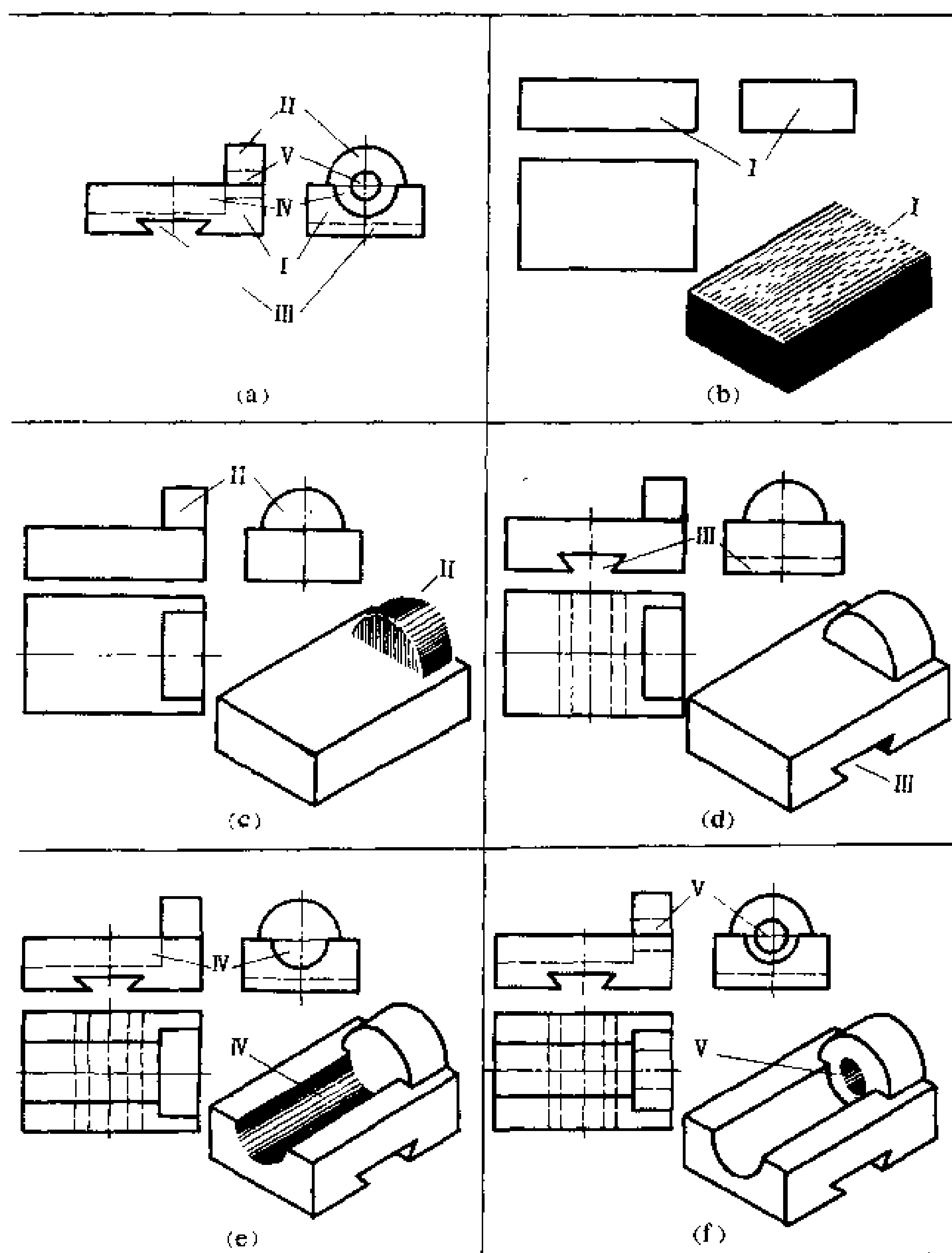


图 4-22　看视图并作第三视图

例 4-6　试画出底座的左视图，如图 4-23。

看和画底座的步骤如图 4-24 所示：

(1) 从俯视图对照主视图，可知底座主体为一圆柱体，如图 4-24a。

(2) 从俯视图中，可见圆柱体顶面有三个封闭线框，即所标出的三个面 A、B 和 C。同时在主视图上可找到其对应的投影。此外，应注意由 B 面所构成的形体与圆柱所形成的截交线 Ⅰ Ⅱ 以及其投影，如图 4 24b。

(3) 由已知视图可以确定圆柱孔及其穿通的位置。在 B 面的形体上为半圆孔，它与圆柱的相贯线为 Ⅲ Ⅳ Ⅴ（圆孔与 C 面的形体在圆柱上的相贯线未标出）。圆孔与 C 面的形体在平面上的交线为 Ⅵ Ⅶ Ⅷ Ⅸ 的圆（半圆孔与 B 面的形体在平面上的交线未标出），如图 4-24c。

(4) 从已知视图可以确定长槽是从圆柱底部穿通，应注意截交线 Ⅹ Ⅺ ⅩⅡ ⅩⅢ 的作法，如图 4-24d。

(5) 综合起来成整体，并完成左视图。

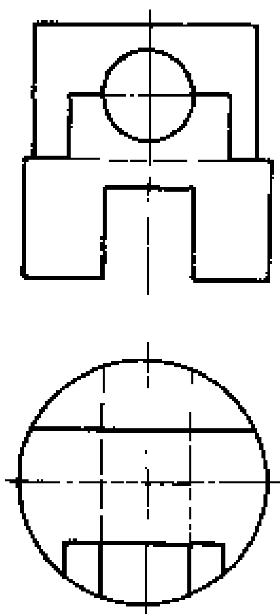


图 4-23　底座

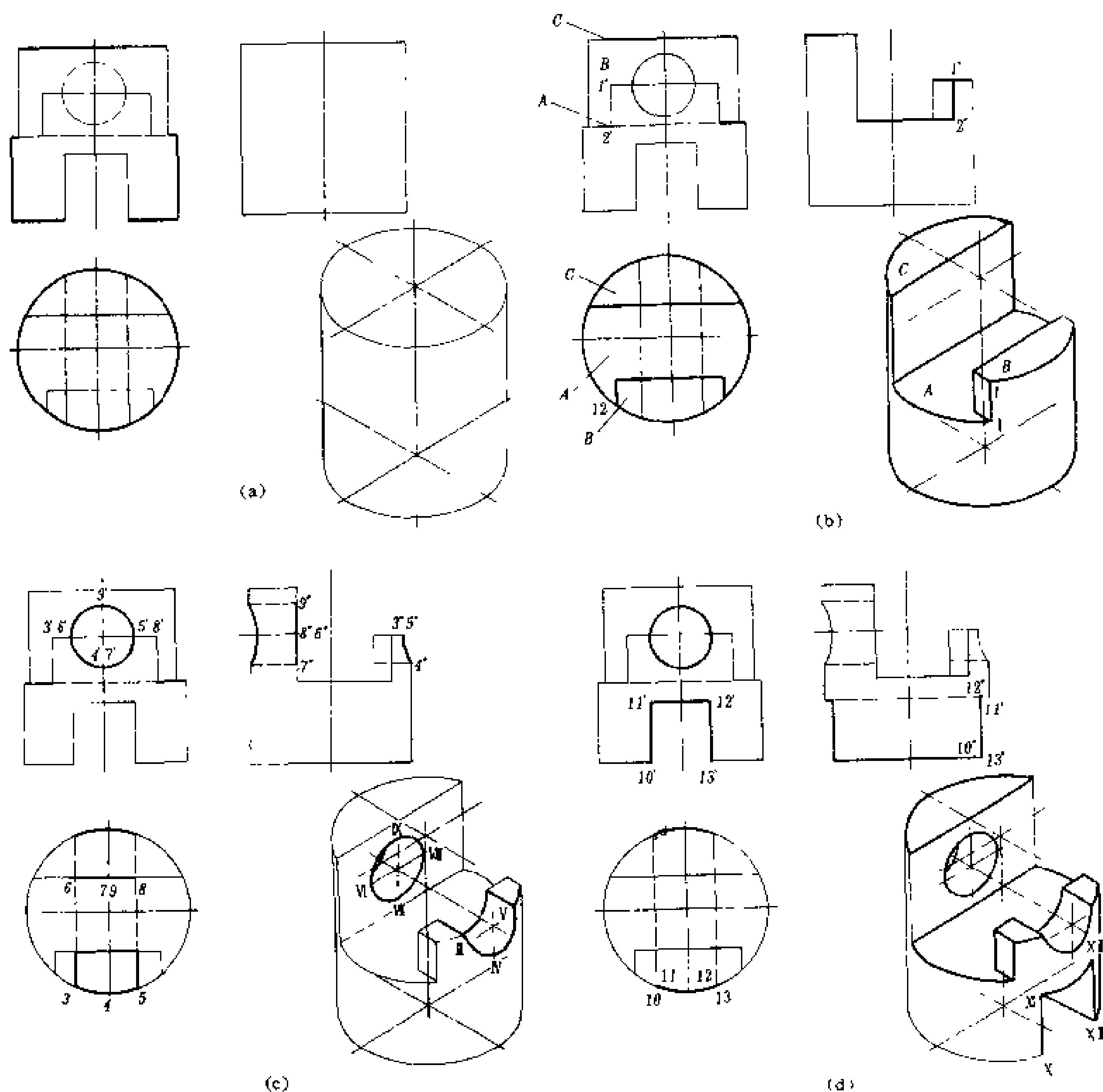


图 4-24　看底座并作出左视图

思 考 问 题

4.1　什么是组合体的形体分析法？

4.2　试举例并作图分析叠加式和切割式的组合体上各形体之间表面连接的投影特性。

4.3　画组合体的基本方法是什么？

4.4　分析说明图 4-11 的作图步骤。

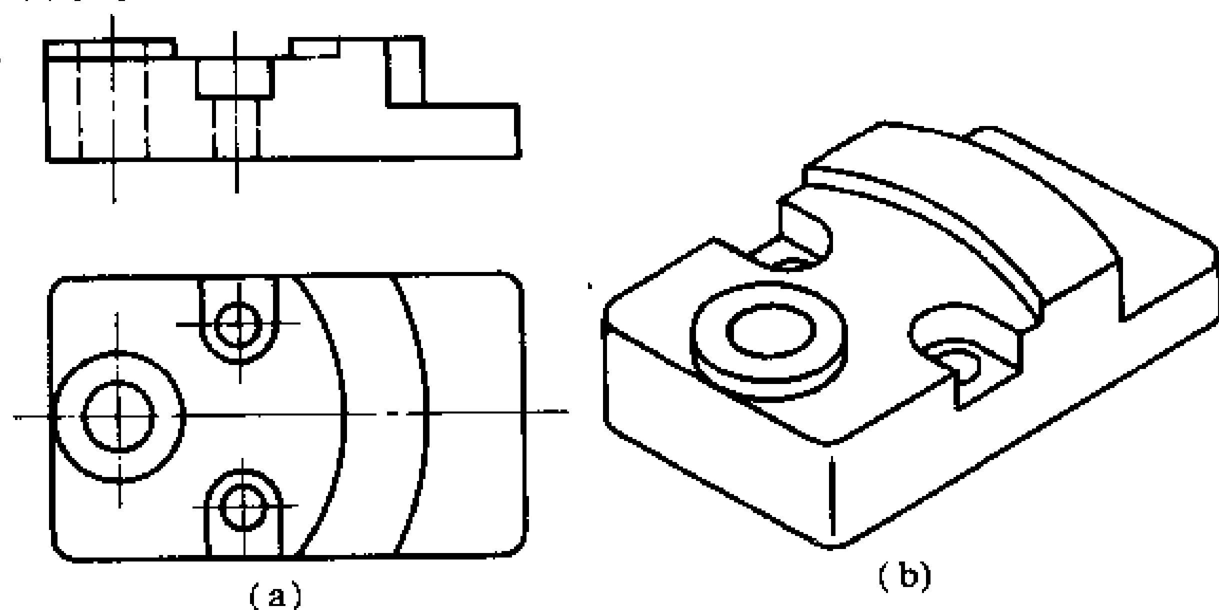
4.5　按照画三视图的步骤，试将图 4-1 或图 4-2 所示的组合体画出三视图。

第5章　轴测图

内容提要　本章介绍轴测图的基本知识，正等测轴测图和斜二测轴测图的画法。

轴测图是一种立体图，它能同时反映出物体长、宽、高三个方向的形状。轴测图看起来富有立体感，形象直观，可以用来帮助看视图，在生产上有时作为辅助图样。

例如，图5-1a是底座的两视图，每个视图只反映了一个方向的形状，因此，只有把两个视图联系起来，通过看视图的方法才能看懂；而图5-1b是底座的轴测图，它能同时反映出底座长、宽、高、三个方向的形状。相比之下，图b比图a更为直观，易于看懂。



(a)　(b)

图5-1　底座

5.1　轴测图的基本知识

5.1.1　轴测图的形成

轴测图是将物体连同其参考直角坐标系，沿不平行于任一坐标面的方向，用平行投影法将其投射在单一投影面上所得的具有立体感的三维图形，如图5-2。这个单一投影面称为轴测投影面。

根据投射线方向与轴测投影面的不同位置，轴测图可分为两大类：投射线方向垂直轴测投影面时所画出的轴测图，称正轴测图，如图5-2a；投射线方向倾斜于轴测投影面时所画出的轴测图，称斜轴测图，如图5-2b。

物体的长、宽、高三个方向的坐标轴，即参考直角坐标系的三根坐标轴OX、OY、OZ在轴测图中投影，称轴测轴；三条轴测轴的交点称为原点；轴测轴之间的夹角称轴间角；轴测轴上的单位长度与相应坐标轴上的单位长度的比值，称轴向伸缩系数。OX、OY、OZ轴上的伸缩系数分别用p、q、r表示。为了作图简便，轴向伸缩系数之比即$p:q:r$应采用较简易的数值。

正轴测图与斜轴测图又分几种，常用的是正等测轴测图（简称正等测）和斜二测轴测图（简称斜二测）两种，如图5-2所示。

5.1.2　轴间角和轴向伸缩系数

在正等测图上，三条轴测轴OX、OY、OZ之间的夹角都是120°，各轴的轴向伸缩系数均为

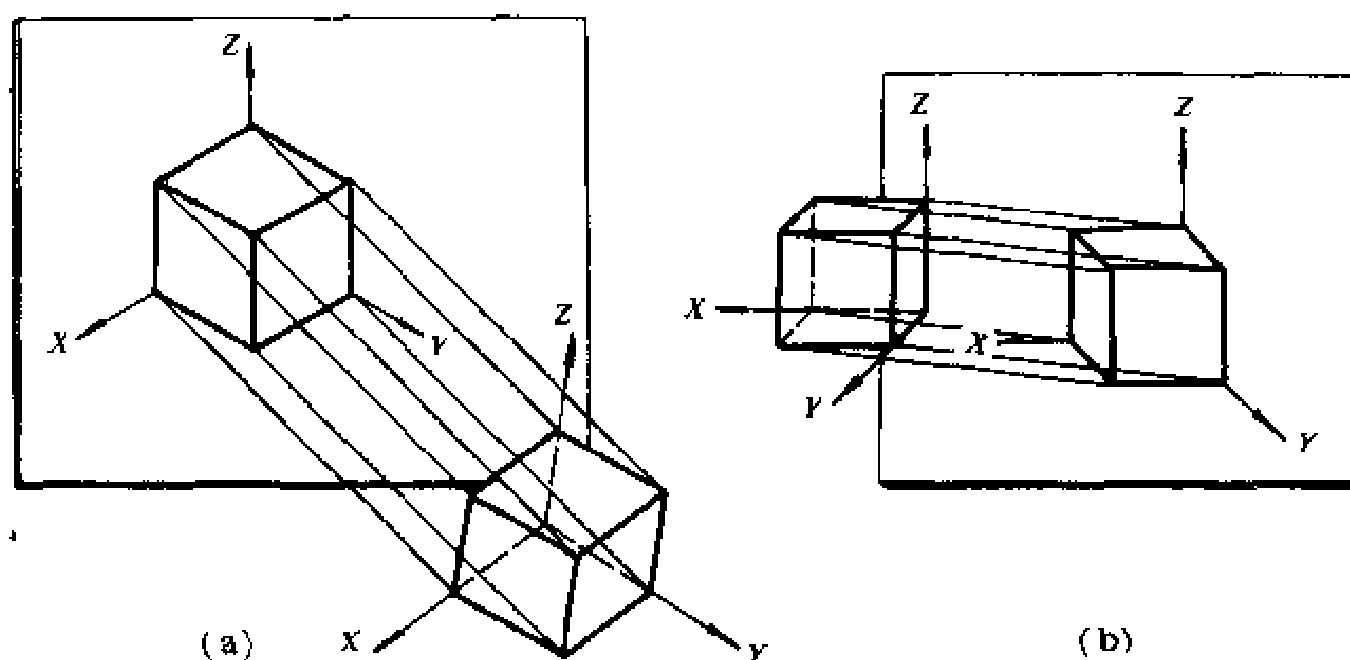


图 5-2　轴测图的形成

0.82。为了作图方便，取伸缩系数之比 $p:q:r$ 为 1:1:1，作图时沿轴向尺寸按实长量取，如图 5-3a。

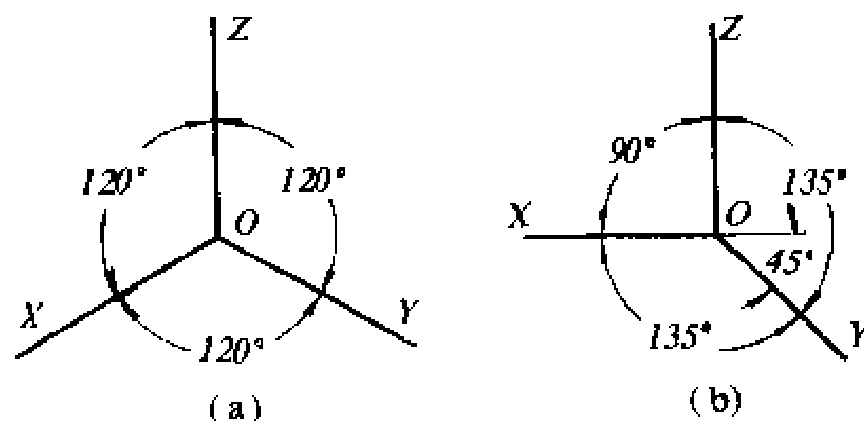


图 5-3　轴间角

在斜二测图上，轴测轴 OX 和 OZ 之间的轴间角为 90°，OX 轴、OZ 轴的轴间伸缩系数 p、r 都是 1，OY 轴选用与 X 轴成 135°的位置，轴向伸缩系数为 0.5，如图 5-3b。

作图时，如果有需要，可沿轴测轴的相反方向度量；轴测轴 OX 和 OY 也可以互换。

5.1.3　轴测图上线、面的投影特性

轴测图上线、面的投影具有如下特性：

(1) 直线的轴测投影仍为直线。

(2) 相互平行线段的轴测投影仍相互平行；平行于坐标轴的线段，它的轴测投影仍平行于相应的轴测轴。

(3) 圆的轴测投影一般是椭圆，特殊情况时为圆。

以上几点在画轴测图时应很好掌握，同时还应注意，虚线在轴测图中一般可省略不画。

5.2　正等测轴测图的画法

5.2.1　基本立体的画法

现以图 5-4a 所示正方体为例，说明正等测的画法。

(1) 在已知视图上定出坐标轴 X、Y、Z，如图 5-4b；

(2) 定出轴测轴 X、Y、Z，如图 5-4c；

(3) 从 O 点着手，沿 Z 轴量取线段 OB 等于 $b'O$；画 AB 平行 X 轴等于 ab，画 BC 平行 Y 轴等

于 bc，画 AD 平行 BC（即平行 Y 轴），画 CD 平行 AB（即平行 X 轴）交 AD 于 D 点；过 A，D，C 各点作垂直线平行于 Z 轴，在垂直线上量取立方体的高度（等于 Ob'），得 A_1，D_1，C_1 各点，用直线连接 A_1，D_1，C_1 各点，如图 5-4d；

（4）擦去辅助作图线，加深，完成正方体的正等测图，如图 5-4e。

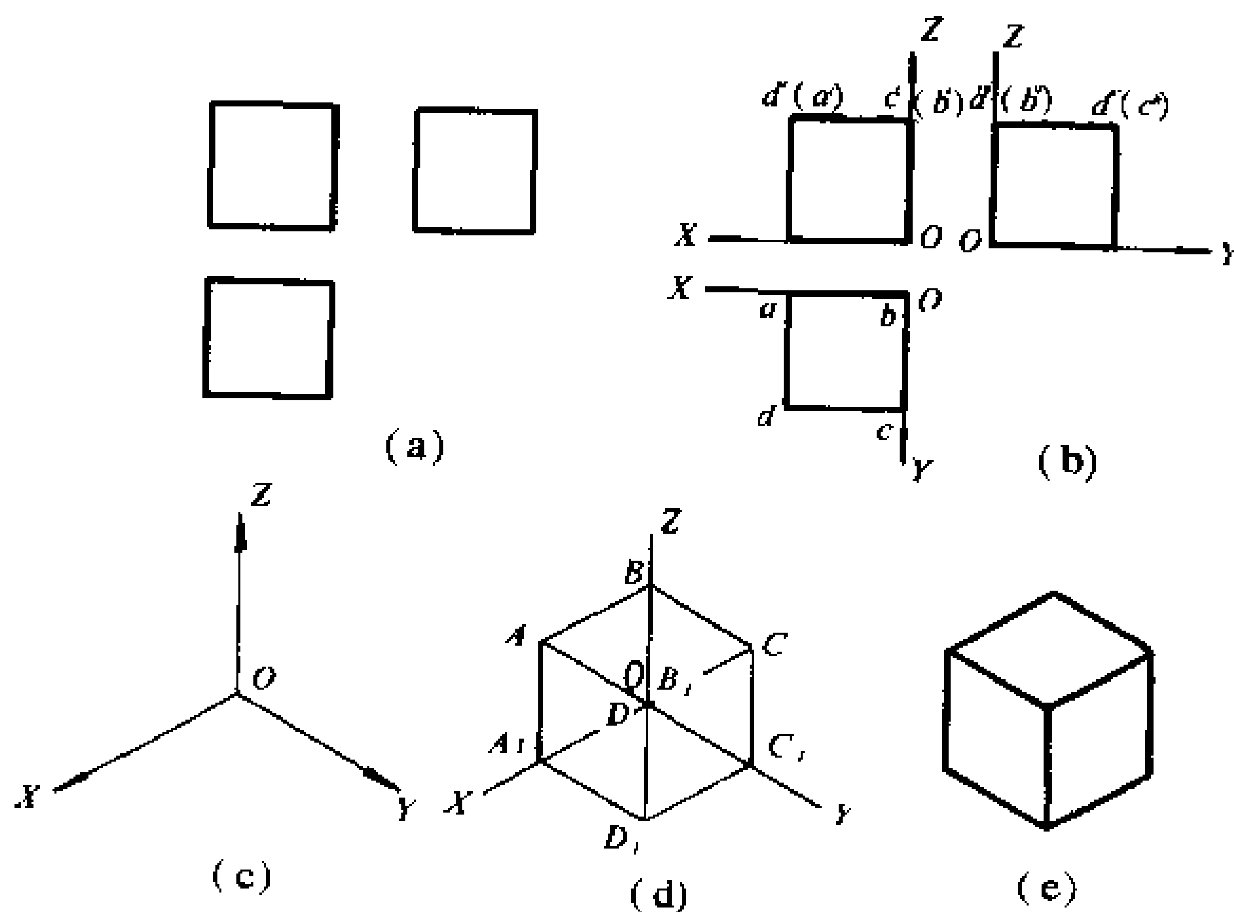


图 5-4　正等测的画法

由图可知，组成正方体长、宽、高三个面是处于不同位置的三个相同的菱形。

以上介绍的是正方体正等测的画法。下面讨论其他基本立体，如六棱柱、四棱台、圆柱和圆锥台等的正等测画法和步骤。

1．六棱柱的正等测画法和作图步骤

（1）六棱柱顶面与底面都是平行于水平投影面的正六边形，确定 X，Y，Z 轴的方向和原点 O 的位置，如图 5-5a；

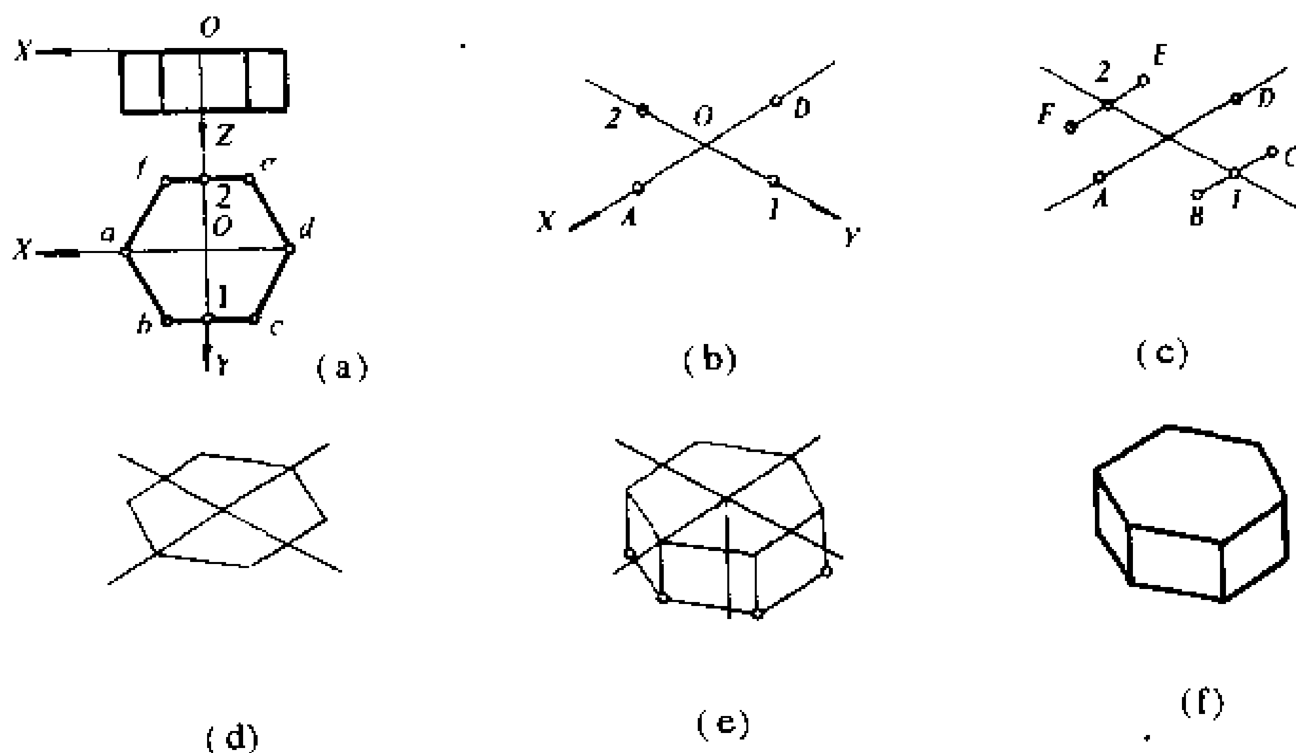


图 5-5　六棱柱正等测的画法

（2）画出轴测轴 X、Y，在 X 轴上从 O 点量取 $OA = Oa$，$OD = Od$，在 Y 轴上从 O 点量取 $O1$，$O2$，如图 5-5b；

(3) 过 1,2 点分别作 X 轴的平行线,在上面量取 $EF=ef$,$BC=bc$,如图 5-5c;

(4) 依次连接各点,即得顶面的轴测图,如图 5-5d;

(5) 由各点沿 Z 轴方向量取六棱柱的高度,得底面正六边形,如图 5-5e;

(6) 擦去多余线条,加深可见轮廓线,即得六棱柱的正等测图,如图 5-5f。

2. 四棱台的正等测画法和作图步骤

(1) 四棱台的顶面和底面都是平行于水平投影面的矩形,确定 X,Y,Z 轴的方向和原点 O 的位置,如图 5-6a;

(2) 画出轴测轴 X,Y,Z,如图 5-6b;

(3) 画出四棱台底面,在 X,Y 轴上以 O 点为中点,分别量取底面矩形的长和宽,再过所量得的点,作 X,Y 轴的平行线,如图 5-6c;

(4) 画出四棱台顶面,从 O 点沿 Z 轴方向量取四棱台的高度,得 O_1 点,用与画底面同样的方法画出顶面,如图 5-6d;

(5) 连接顶面与底面相应各顶点,如图 5-6e;

(6) 擦去多余的线条,加深可见轮廓线,即得四棱台的正等测图,如图 5-6f。

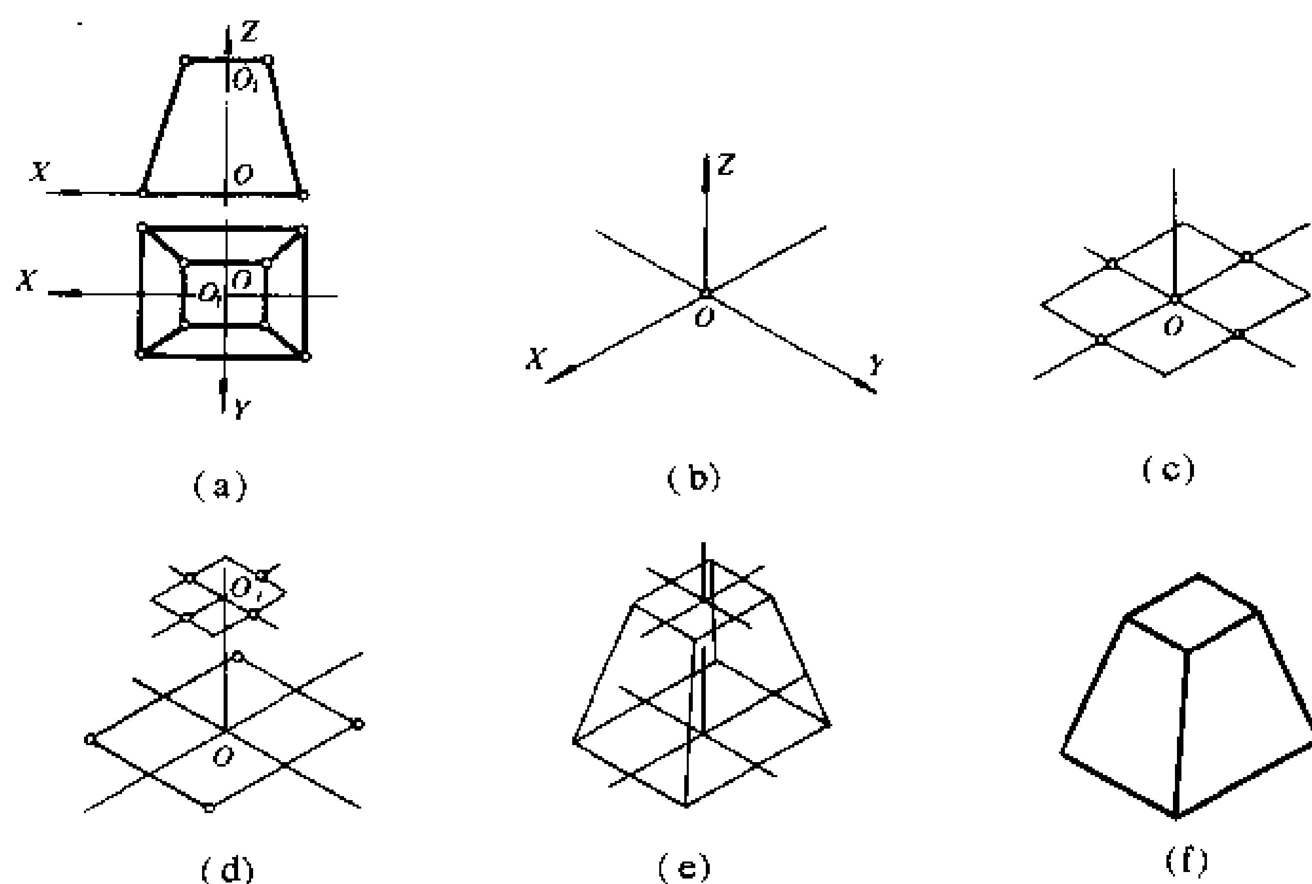


图 5-6　四棱台正等测的画法

3. 圆的正等测画法和作图步骤

(1) 圆所在的平面平行水平投影面,确定 X、Y 轴的方向和原点 O 的位置,如图 5-7a;

(2) 作出轴测轴 X、Y,如图 5-7b;

(3) 从 O 点着手,在 X,Y 轴上各量取圆的半径 R,得 A,B,C、D 四点,通过 B,D 点作 X 轴平行线、过 A,C 点作 Y 轴平行线,画出一菱形,如图 5-7c;

(4) 通过菱形各边中点、作各边的垂直线,相应垂直线的交点就是圆心;或者通过菱形钝角顶点,向对边作垂直线,相应垂直线的交点,就是圆心,如图 5-7d;

(5) 先以钝角顶点 O_1 为圆心,顶点到对边的距离为半径,画两个圆弧(从一中点画到另一中点);再以垂直线交点 O_2 为圆心,交点到对边距离为半径、作两圆弧,与另两圆弧相切,即成近似椭圆,如图 5-7e;

(6) 平行于各基本投影面的圆,在正等测中,它们的投影均为椭圆,作法同上,如图 5-7f。

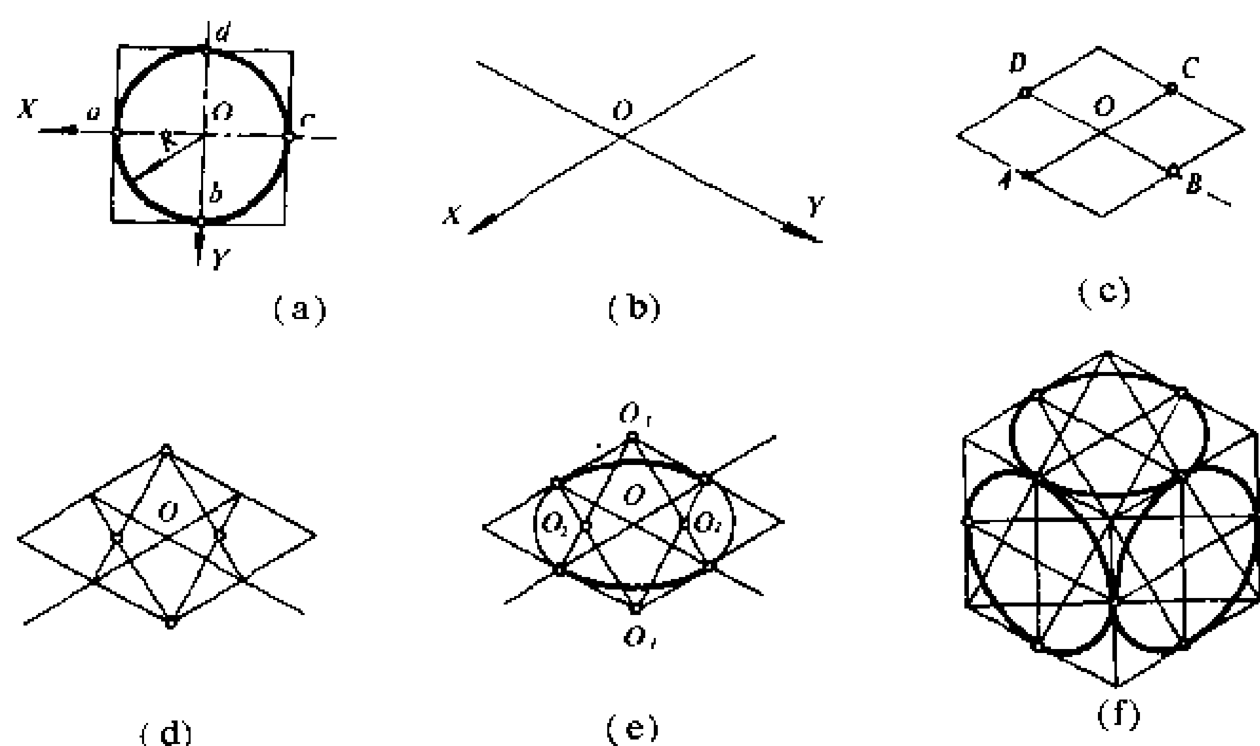


图 5-7　圆的正等测画法

4. 圆柱的正等测画法和作图步骤

(1) 圆柱的顶面和底面相同，均平行水平投影面；确定 X,Y,Z 轴的方向和原点 O 的位置，如图 5-8a；

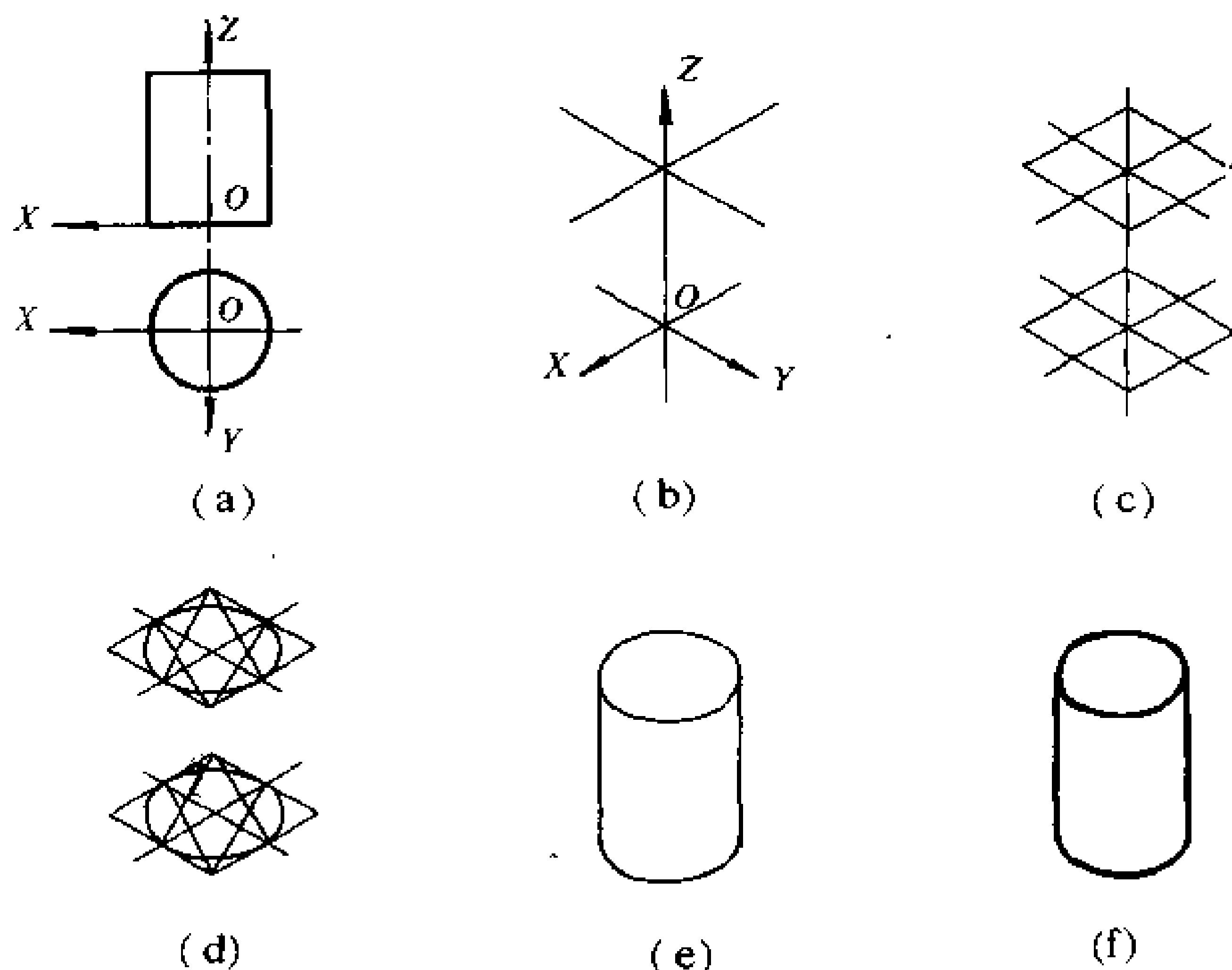


图 5-8　圆柱的正等测画法

(2) 作出轴测轴 X、Y、Z；从 O 点着手，量取圆柱的高度，定出顶面的位置，并作出和 X、Y 轴平行的轴线，如图 5-8b；

(3) 作出顶面和底面的菱形，边长等于圆的直径，如图 5-8c；

(4) 作出与菱形内切的椭圆，作法见圆的正等测画法，如图 5-8d；

(5) 作两椭圆的公切线，如图 5-8e；

(6) 整理，加深，完成圆柱正等测作图，如图 5-8f。

5. 圆锥台的正等测画法和作图步骤

(1) 圆锥台的顶面和底面均平行水平投影面，确定 X,Y,Z 轴的方向和原点 O 的位置，如图 5-9a；

(2) 作出轴测轴 X,Y,Z；从 O 点着手，量取圆锥台的高度，定出顶面的位置，并作出 X,Y 轴的平行线，如图 5-9b；

(3) 作出顶面和底面的菱形，边长分别等于顶面和底面圆的直径，如图 2-9c；

(4) 作出菱形内切的椭圆，作法见圆的正等测画法，如图 5-9d；

(5) 作两椭圆的公切线，如图 5-9e；

(6) 整理，加深，完成圆锥台正等测作图，如图 5-9f。

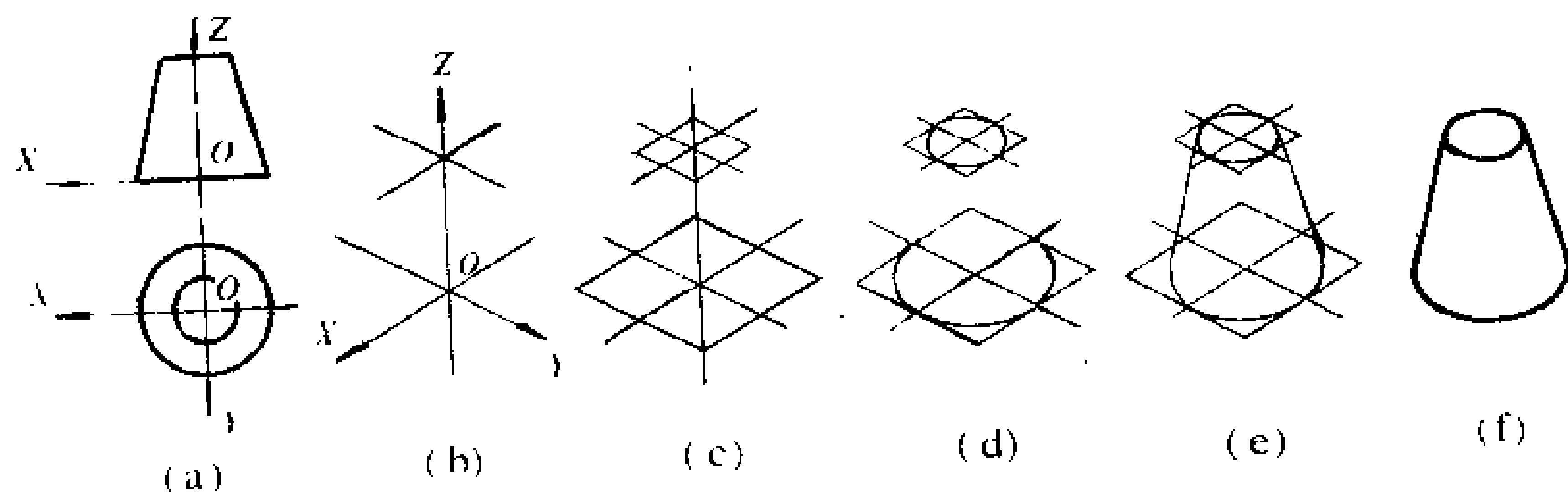


图 5-9 圆锥台的正等测画法

5.2.2 组合体的画法

零件大多是组合体，由几个基本形体以叠加、切割、相切或相贯等连接形式组合而成。因此在画正等测时，应先用形体分析方法，分析组合体的组成部分、连接形式和相对位置，然后逐个画出各组成部分的正等测轴测图，最后按照它们的连接形式，完成轴测图。

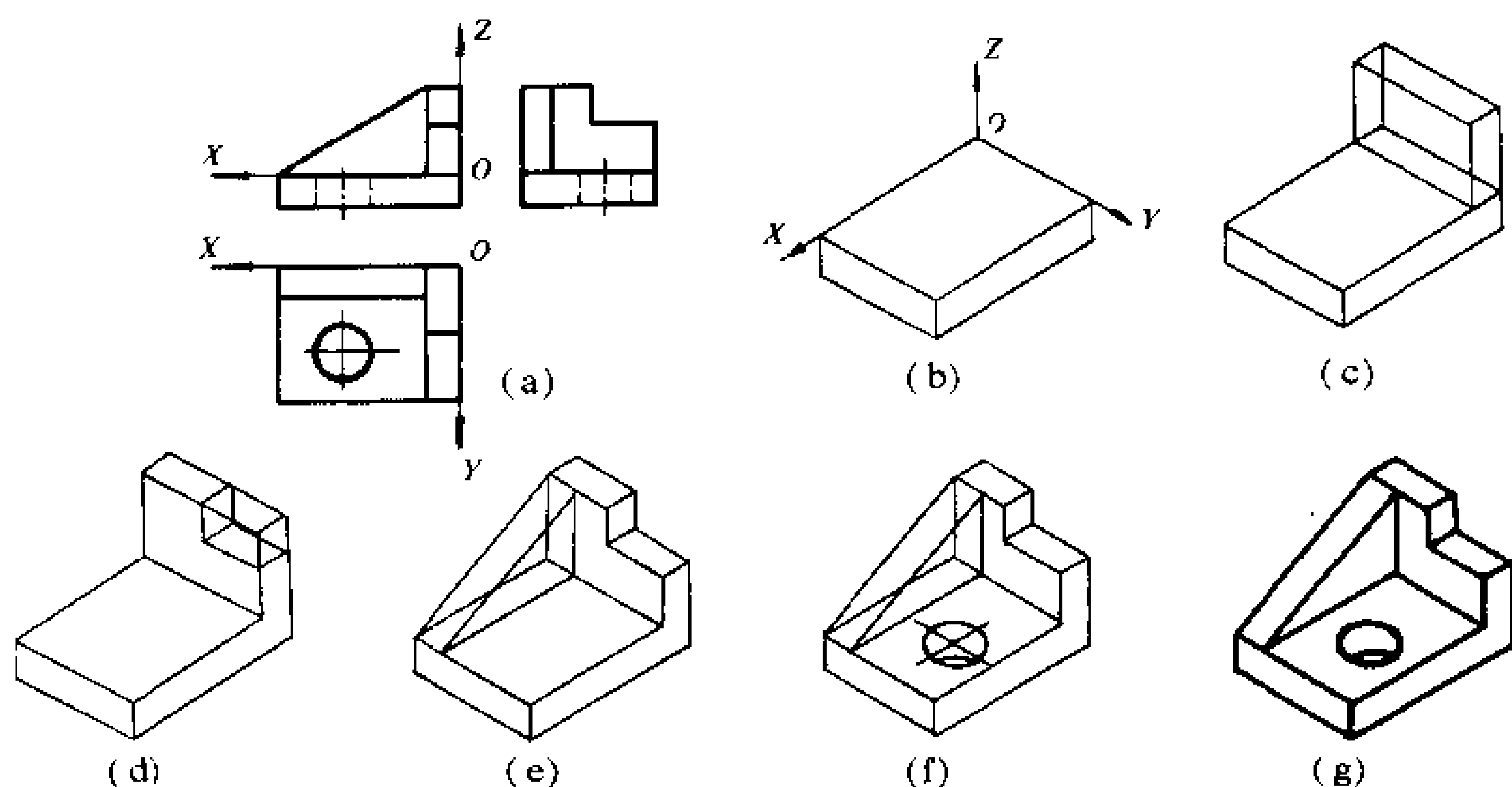


图 5-10 组合体的正等测画法

1. 组合体的正等测画法和作图步骤(图 5-10)

由形体分析可知，这个组合体是由底板(四棱柱)、侧立板(四棱柱)、缺口(四棱柱)、三角形板(三棱柱)及圆孔组成。在选定坐标位置后，具体作图步骤是：

(1) 画轴测轴，并画底板，如图 5-10b；

(2) 画侧立板，如图 5-10c；

(3) 画侧立板上缺口，如图 5-10d；

(4) 画三角形板，如图 5-10e；

(5) 画底板上圆柱孔，如图 5-10f；

(6) 整理，加深，完成组合体的正等测作图，如图 5-10g。

2. 轴承架的正等测画法和作图步骤(图 5-11)

(1) 分析视图，确定 X,Y,Z 轴的方向和原点 O 的位置，如图 5-11a；

(2) 画轴测轴，并画出底板，如图 5-11b；

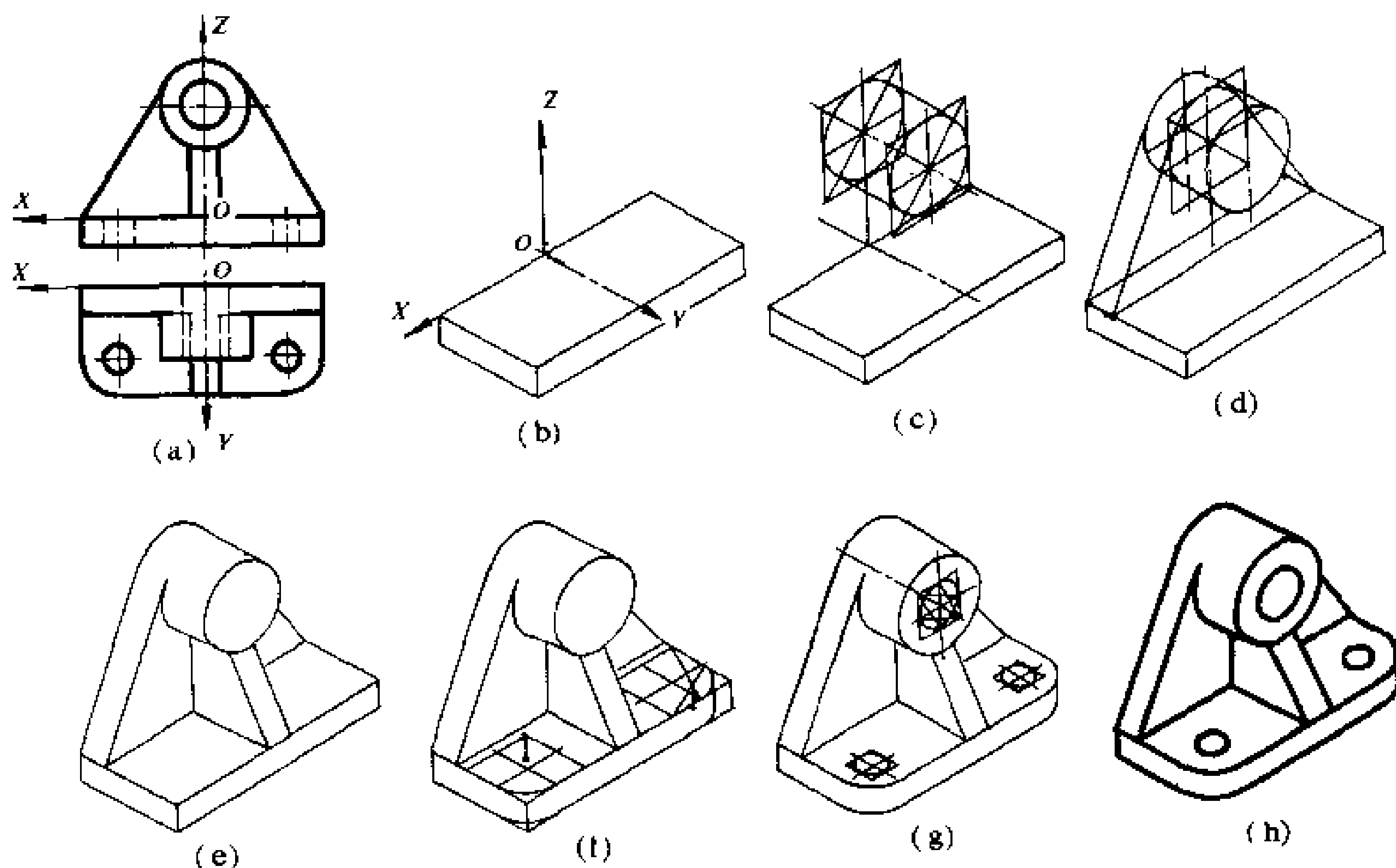


图 5-11 轴承架的正等测画法

(3) 按圆柱轴线高，画出圆柱，如图 5-11c；

(4) 作出与圆柱相切的斜肋，如图 5-11d；

(5) 作出垂直支撑肋，如图 5-11e；

(6) 作出底板上两个圆角，如图 5-11f；

(7) 作出底板上两个圆柱孔及圆柱体上圆柱孔，如图 5-11g；

(8) 整理，加深，完成轴承架的正等测作图，如图 5-11h。

5.3 斜二测轴测图的画法

下面我们同样以正方体为例，来说明斜二测的画法。

(1) 在已知视图上定出坐标轴 X,Y,Z，如图 5-12b；

(2) 画出轴测轴 X,Y,Z，如图 5-12c；

(3) 从 O 点着手，沿 Z 轴量取线段 BO 等于 bO；画 AB 平行 X 轴且等于 ab，画 BC 平行 Y 轴

等于$\frac{1}{2}bc$，画 AD 平行 BC(即平行于 Y 轴)，画 CD 平行 AB(即平行 X 轴)，交 AD 于 D 点；过 A,D，C 各点作垂直线平行 Z 轴，在垂直线上截取高度(等于 $b'O$)，得 A_1,D_1,C_1 各点，用直线连接 A_1，D_1,C_1 各点，如图 5-12d；

(4) 整理，加深，完成正方体的斜二测图，如图 5-12e。

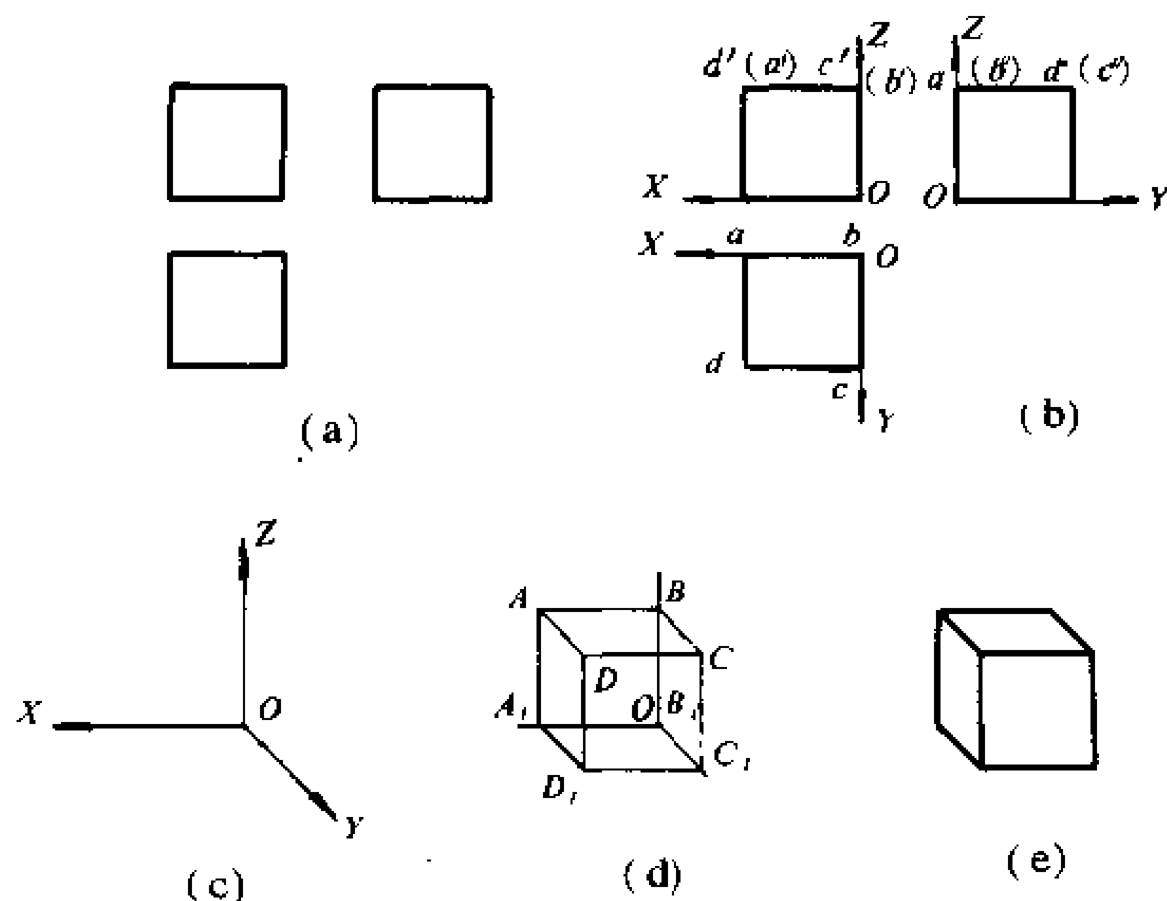


图 5-12　斜二测的画法

因零件上平行于轴测投影面的平面形状，在斜二测图中反映实形，所以图中前面反映实形－正方形；其余两个面变形，成平行四边形。

图 5-13 是圆在斜二测中三个基本投影面上的不同情况。当圆平行于轴测投影面时，其投影反映实形，其余是椭圆。因此，凡遇到一个方向上圆较多或形状较复杂的零件时，为了作图方便，常采用斜二测，并使多圆的方向平行轴测投影面。如图 5-14 的法兰是由圆板、圆柱、圆孔组成，圆很多，如用正等测，就得画很多椭圆，较麻烦。现采用斜二测画法兰(如图 5-15)，使圆形都平行于轴测投影面，这样作轴测图时，就很方便。画斜二测时要注意在 Y 轴方向的伸缩系数是 0.5，量取尺寸时取原尺寸的一半。

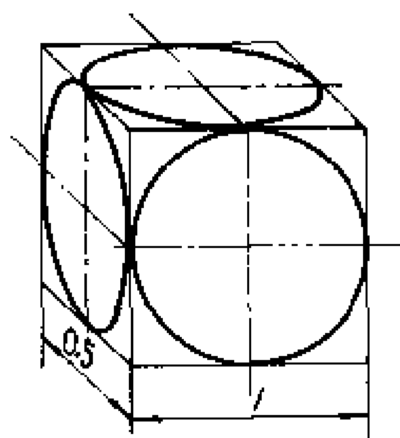
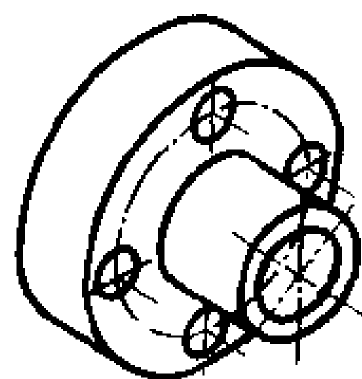


图 5-13　圆的斜二测


图 5-14　法兰

1. 法兰的斜二测画法和作图步骤(图 5-15)

(1) 构成法兰的圆板、圆柱与圆孔的圆都平行于正面投影面；确定 X,Y,Z 轴的方向和原点 O 的位置，如图 5-15a；

(2) 画出斜二测轴测轴，如图 5-15b；

(3) 画圆板，如图 5-15c；

(4) 画圆柱，如图 5-15d；

(5) 画圆板上四个圆孔及圆柱上圆孔，如图 5-15e；

(6) 整理，加深，完成法兰的斜二测作图，如图 5-15f。

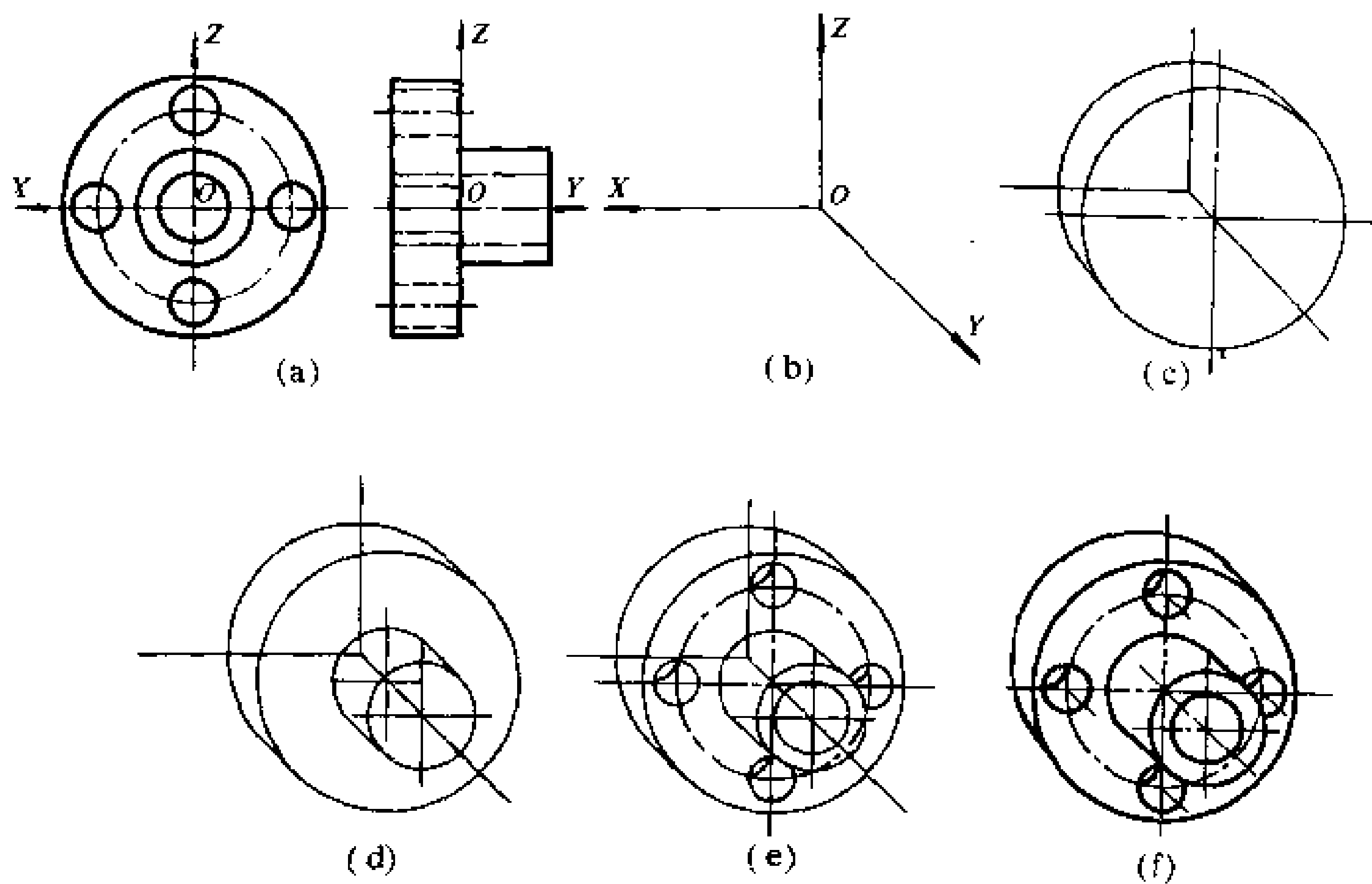


图 5-15　法兰的斜二测画法

2. 连杆的斜二测画法和作图步骤(图 5-16)

(1) 构成连杆的半圆柱和圆孔的圆都平行于正面投影面；确定 X、Y、Z 轴的方向和原点 O 的位置，如图 5-16a；

(2) 画出轴测轴，如图 5-16b；

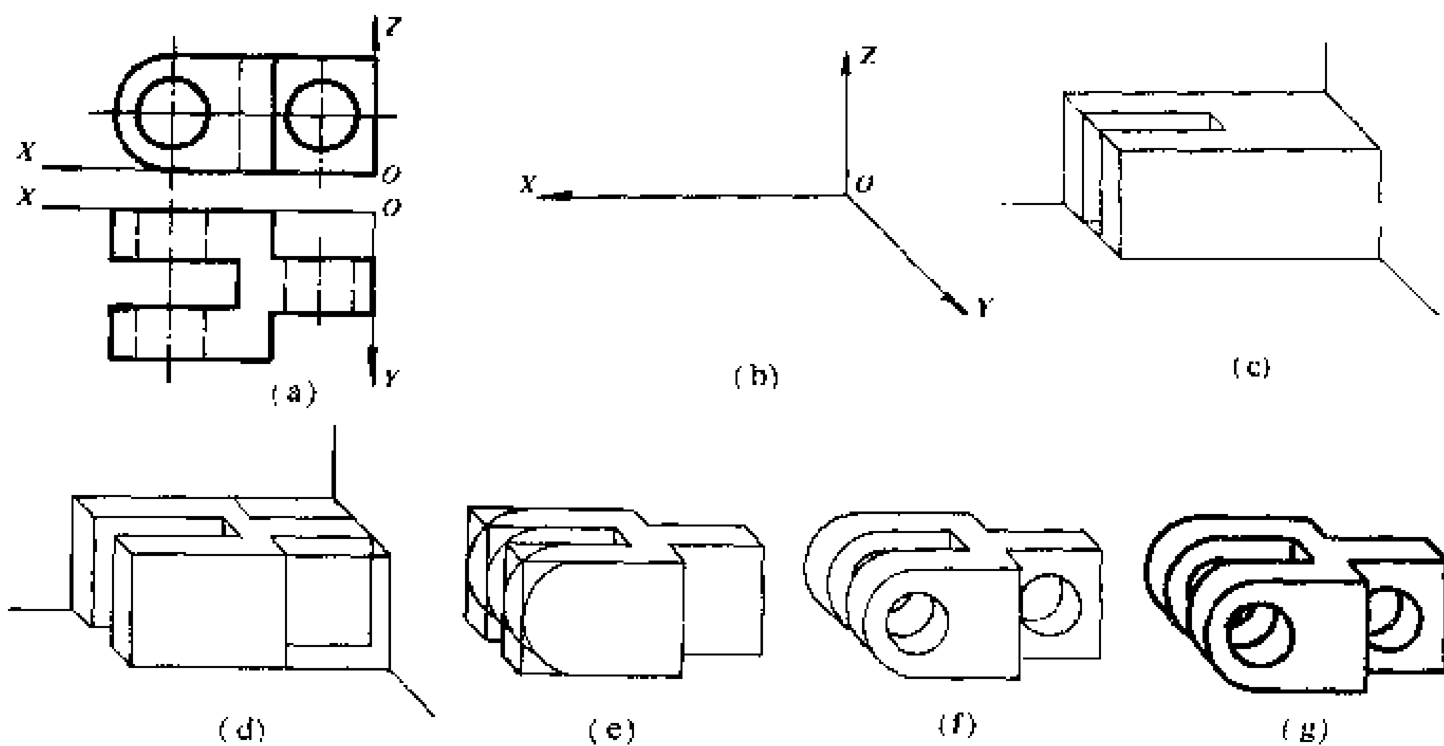


图 5-16　连杆的斜二测画法

(3) 画出长方体及其左边头部槽口，应注意 Y 轴轴向伸缩系数为 0.5，如图 5-16c；

(4) 画出右边连杆尾部，如图 5-16d；

(5) 画出左边头部半圆柱形，如图 5-16e；

(6) 画出圆孔，如图 5-16f；

(7) 整理，加深，完成连杆的斜二测作图，如图 5-16g。

思考问题

5.1　试述正等测轴测图与斜二测轴测图的轴间角和轴向伸缩系数。

5.2　试述正等测轴测图中平行基本投影面的圆的画法步骤，并作出平行于正立投影面的圆(圆的直径为 40mm)，其椭圆长轴和短轴的方向如何确定。

第 6 章　组合体的尺寸注法

内容提要　本章主要介绍基本立体和组合体的尺寸注法。

视图仅表示机件的形状，而机件各部分的真实大小及相对位置要靠标注的尺寸来确定。生产机件，就是根据图样上所注的尺寸进行加工制造的。因此，标注尺寸应做到以下几点：

(1) 正确 —— 尺寸注写要符合国家标准《机械制图》中有关《尺寸注法》的规定；

(2) 完整 —— 尺寸必须注写齐全，不遗漏，不重复；

(3) 清晰 —— 尺寸的注写布局要整齐、清晰，便于看图；

(4) 合理 —— 所注尺寸要既能保证设计要求，又能适合加工、检验、装配等生产工艺。

标注尺寸必须符合以上要求，否则会引起生产上的困难。尺寸注法的有关规定，已在第 1 章中介绍，这里主要讨论如何完整、清晰地标注尺寸。有关标注尺寸的合理性，将在第 9 章零件图中再介绍。

6.1　基本立体的尺寸注法

要掌握组合体的尺寸注法，必须先熟悉和掌握一些基本立体的尺寸标注方法，对于一些基本立体，一般应注出它的长、宽、高三个方向的尺寸，但并不是每一个立体都需要在形式上注全这三个方向的尺寸。例如标注圆柱、圆锥的尺寸时，在其投影为非圆的视图上注出直径方向（简称径向）尺寸“ϕ”后，不仅可以减少一个方向的尺寸，而且还可以省略一个视图，因为尺寸“ϕ”具有双向尺寸功能。从表 6-1 常见基本立体的尺寸注法中，我们可以了解基本立体尺寸标注的一般规律和方法。

表 6-1　常见基本立体的尺寸注法

长宽高 1. 四棱柱：注长、宽、高三个尺寸	对边距离和柱高 2. 六棱柱：注六棱柱的对边距离及高度尺寸	3. 四棱台：注上、下底面的长和宽以及高度尺寸

续　表

4. 圆柱：直径及高度尺寸	5. 圆台：注上、下底圆直径和高度尺寸	6. 球：注直径
7. 底板：注长、宽、高三个尺寸及加注圆角半径尺寸	8. 底板：注长、宽、高三个尺寸	9. 支板：注长、宽、中心高及圆弧尺寸
10. 开槽圆柱：注出圆柱尺寸后，再注槽的深度和宽度	11. 凸块：注出圆柱尺寸后，再注凸块的高度和宽度	12. 截头圆球：注直径及高度

6.2　组合体的尺寸注法

6.2.1　完整地标注尺寸

要使尺寸注得完整，通常可按照形体分析的方法，将组合体分析成由若干基本立体组合而成。因此，对组合体应注出下面三类尺寸：

(1) 定形尺寸 —— 用于确定各基本立体的形状大小；

(2) 定位尺寸 —— 用于确定各基本立体之间的相互位置；

(3) 总体尺寸 —— 用于确定组合体的总长、总宽和总高。

标注定位尺寸时，必须在长、宽、高三个方向分别选出尺寸基准，每个方向至少有一个尺寸基准，以便确定各基本立体在各方向上的相对位置。所谓尺寸基准，即标注尺寸的起点，通常可选择组合体的底面、重要端面、对称平面以及回转体的轴线等作为尺寸基准。

现以图 6-1 滑座为例，说明如何完整标注组合体尺寸的问题。

经过形体分析知道滑座由支板、底板和圆柱凸台三部分组成。其尺寸标注步骤见表 6-2。

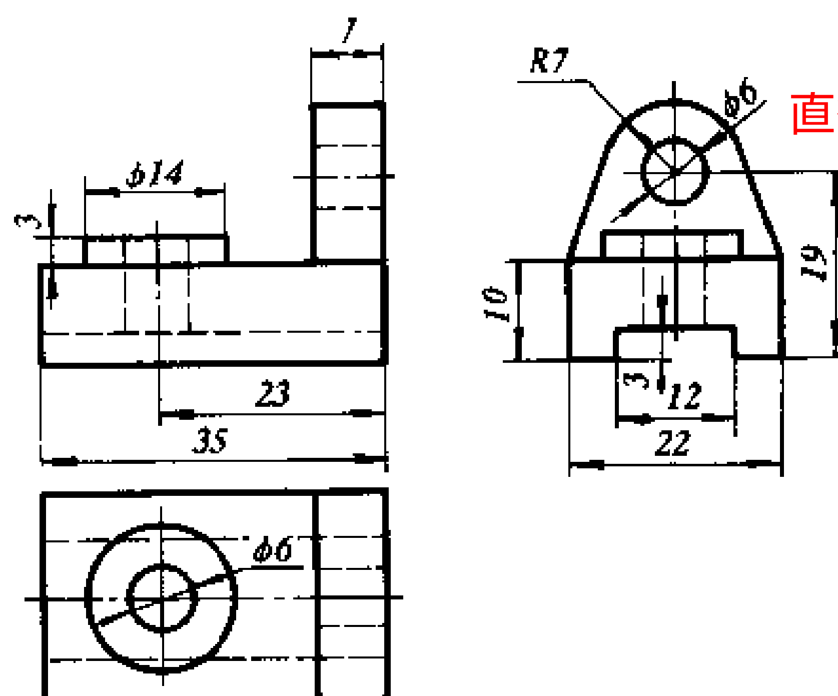
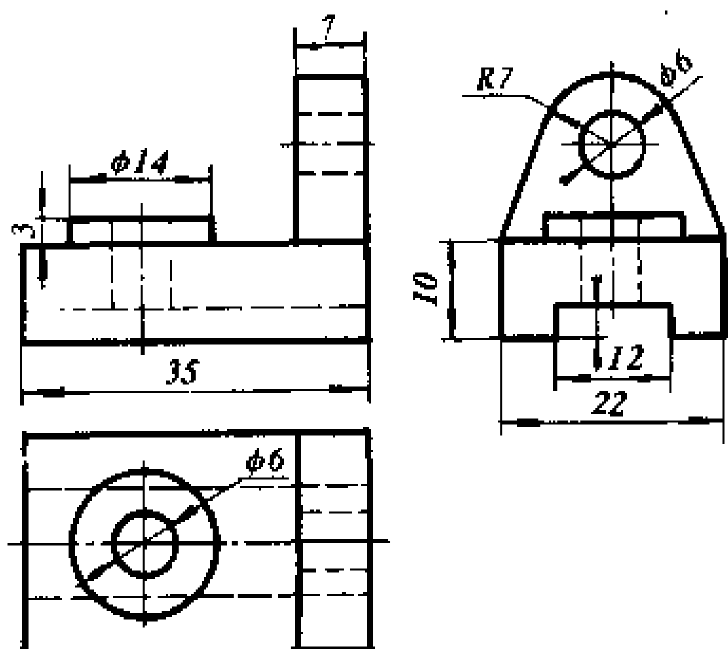
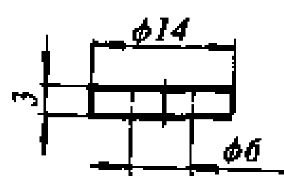
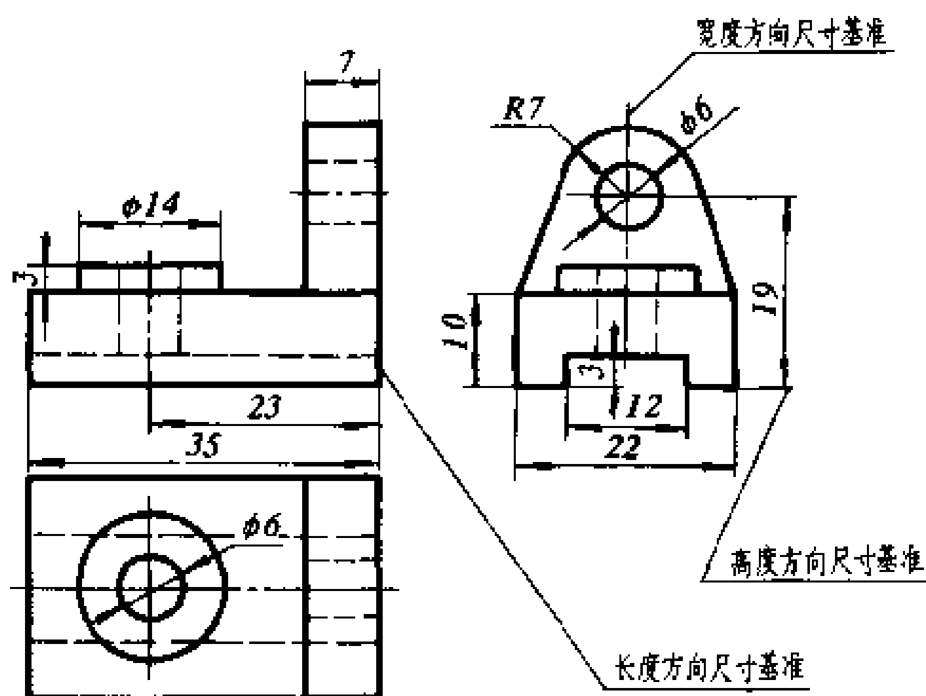


图 6-1　滑座

表 6-2　尺寸标注步骤

第一步：注出底板的定形尺寸	底板的定形尺寸
第二步：注出支板的定形尺寸	支板的定形尺寸 尺寸 22 与底板共有，不必重复注出

续　表

第三步：注出圆柱体的定形尺寸 	圆柱体的定形尺寸  圆柱体中圆孔的尺寸φ6与底板共有，不必重复注出。
第四步：注出以上三个基本立体间的相对位置尺寸及总体尺寸 	以底面为高度方向尺寸基准，注出定位尺寸19，以右端面为长度方向尺寸基准，注出定位尺寸23，再选平面中心线为宽度方向尺寸基准，说明滑座各部分在宽度上是对称的。最后根据组合体的结构特点注出总长、总宽和总高。本例的总长、总宽尺寸与底板的长、宽尺寸刚好合用。至于总高尺寸在本例也不需要注出，因为在加工时，为了便于确定支板上圆孔φ6的中心位置，必须直接注出孔的中心高19，因此总高尺寸就省略。

有时两个基本立体处于叠加、对称、靠齐的位置，这时就不必再标注这两个基本立体之间的相对位置，上例中就有这种情况。下面再举一个简单的例子来进一步说明。如图6-2所示，该零件由两个基本立体组成，它们之间刚好处在叠加、对称和靠齐的位置上。它们的定形尺寸已能确定两形体的相对位置，因此，确定两基本立体相对位置的定位尺寸就不必标注。

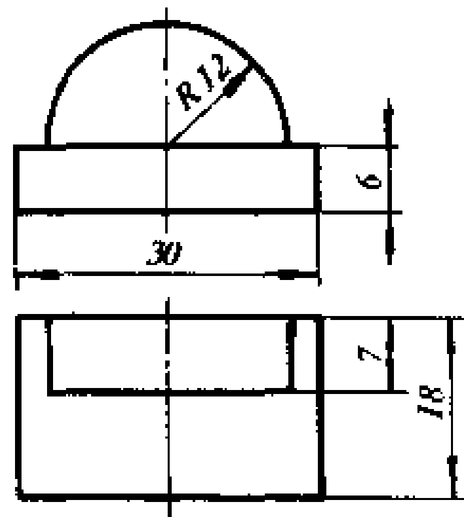


图6-2　组合体尺寸标注

经常会碰到如表6-3所列的底板、法兰盘（仅画出某一个方向视图）这一类结构件，熟悉这些结构投影图形的尺寸标注，将有利于掌握组合体的尺寸注法。这些结构件均由两个以上基本立体组成，显然，在标注尺寸时就要考虑尺寸基准的问题。由图可见，这些结构件的平面图形又都是对称的，所以可用对称线作为尺寸基准来确定基本立体的相对位置。

表 6-3　常见底板、法兰盘的尺寸标注

	定形尺寸 —— a. 底板的长、宽，以及圆角半径 R b. 四个圆孔 $4-\phi$ 定位尺寸 —— 以对称线为基准注出四个圆孔长、宽方向的中心位置尺寸
	定形尺寸 —— a. 底板宽度直径 ϕ，两端圆弧尺寸及其圆心位置 b. 两个圆孔 $2-\phi$ 定位尺寸 —— 以对称线为基准注出两个圆孔的中心位置尺寸（与定形尺寸合用）
	定形尺寸 —— a. 底板直径 ϕ 及宽度 b. 半圆弧槽的宽度 定位尺寸 —— 以对称线为基准注出两半圆弧槽的中心位置尺寸
	定形尺寸 —— a. 法兰盘的直径 ϕ b. 四个圆孔 $4-\phi$ c. 中间圆孔 ϕ 定位尺寸 —— 以圆心为基准注出过四个圆心的直径，即为四个小圆孔的中心位置尺寸

6.2.2　清晰地标注尺寸

尺寸不仅要注得完整，而且还要求注得清晰，使看图的人一目了然，因此必须注意尺寸线、尺寸界线和尺寸数字在图上的排列和布置，下面主要介绍尺寸如何标注得清晰。

(1) 尺寸尽可能标在表示形体特征最明显的视图上。如图 6-3 中凹槽的尺寸 8 注在主视图上比注在俯视图上好；又如图 6-1 中支板厚度 7，注在主视图上就很清晰、明显。

(2) 同一形体的尺寸应尽量集中标注。如图6-3中凹槽的尺寸8及9应集中注在主视图上，以便于看图时查找。

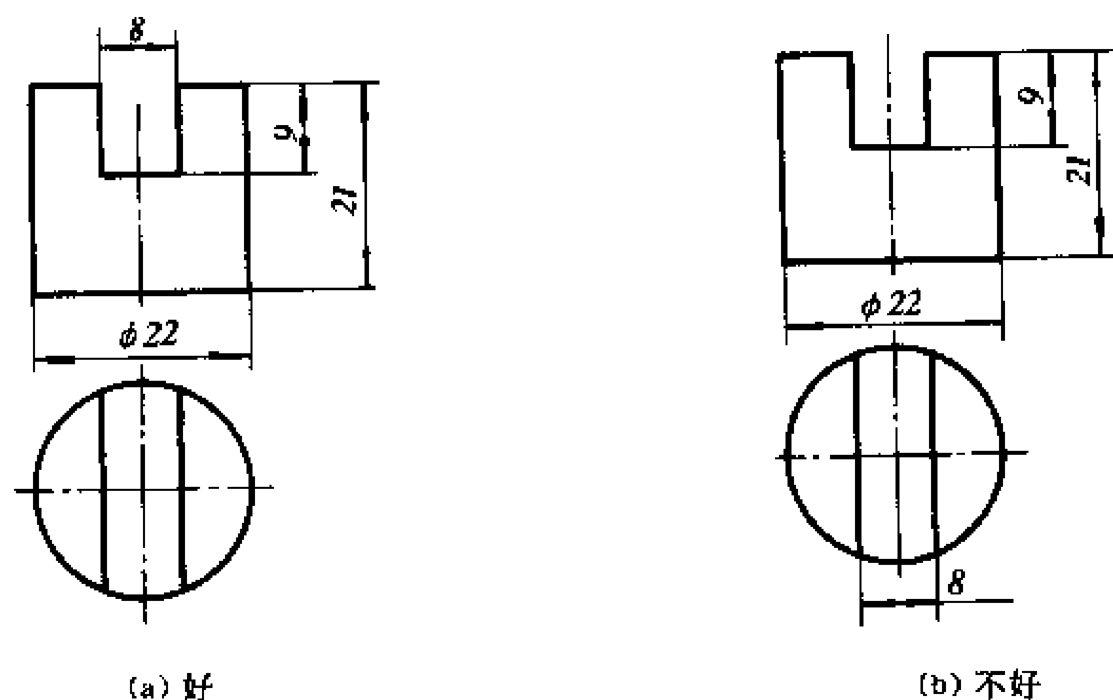


图 6-3　尺寸标注对比之一

(3) 半径尺寸要注在投影为圆弧的视图上，如图 6-4。

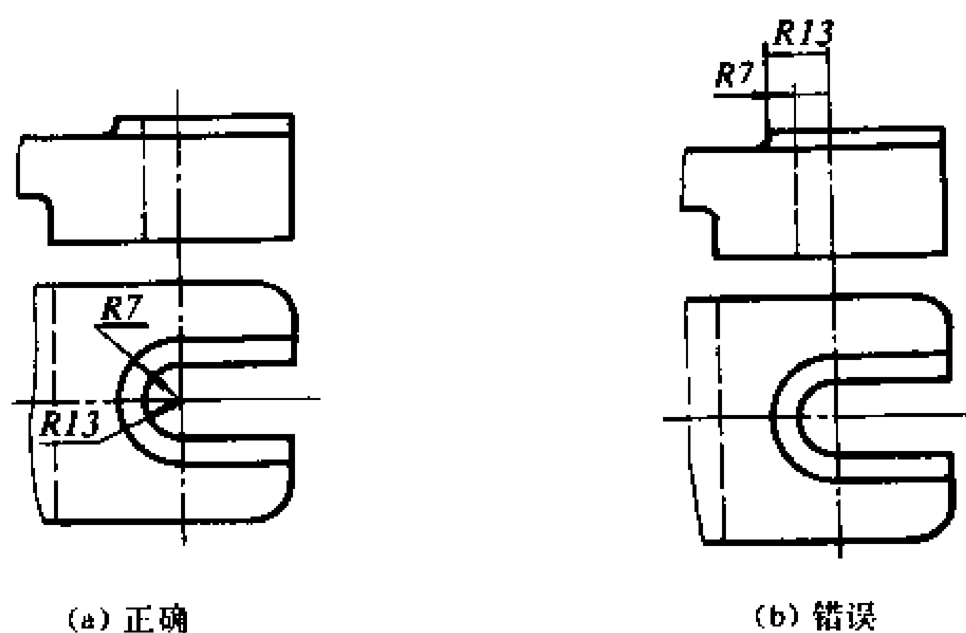


图 6-4　尺寸标注对比之二

(4) 尺寸平行排列时，应使小尺寸在内(靠近视图)、大尺寸在外，如图 6-5a。

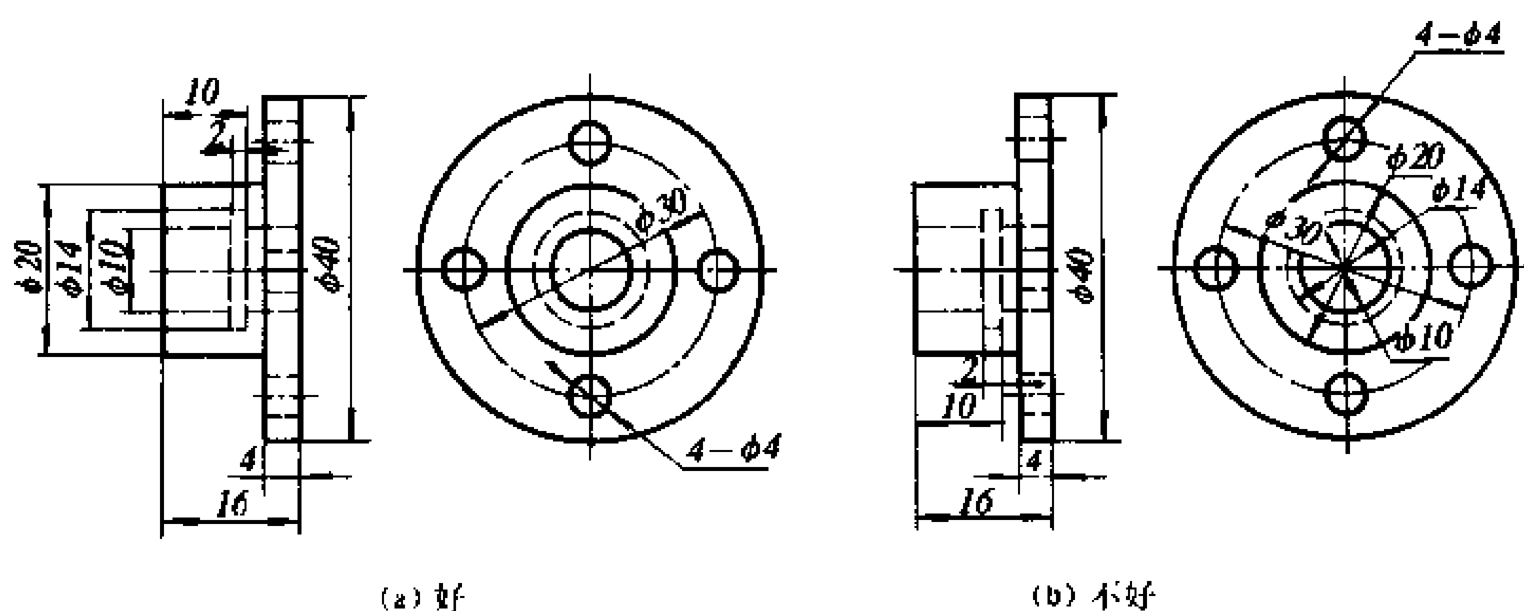


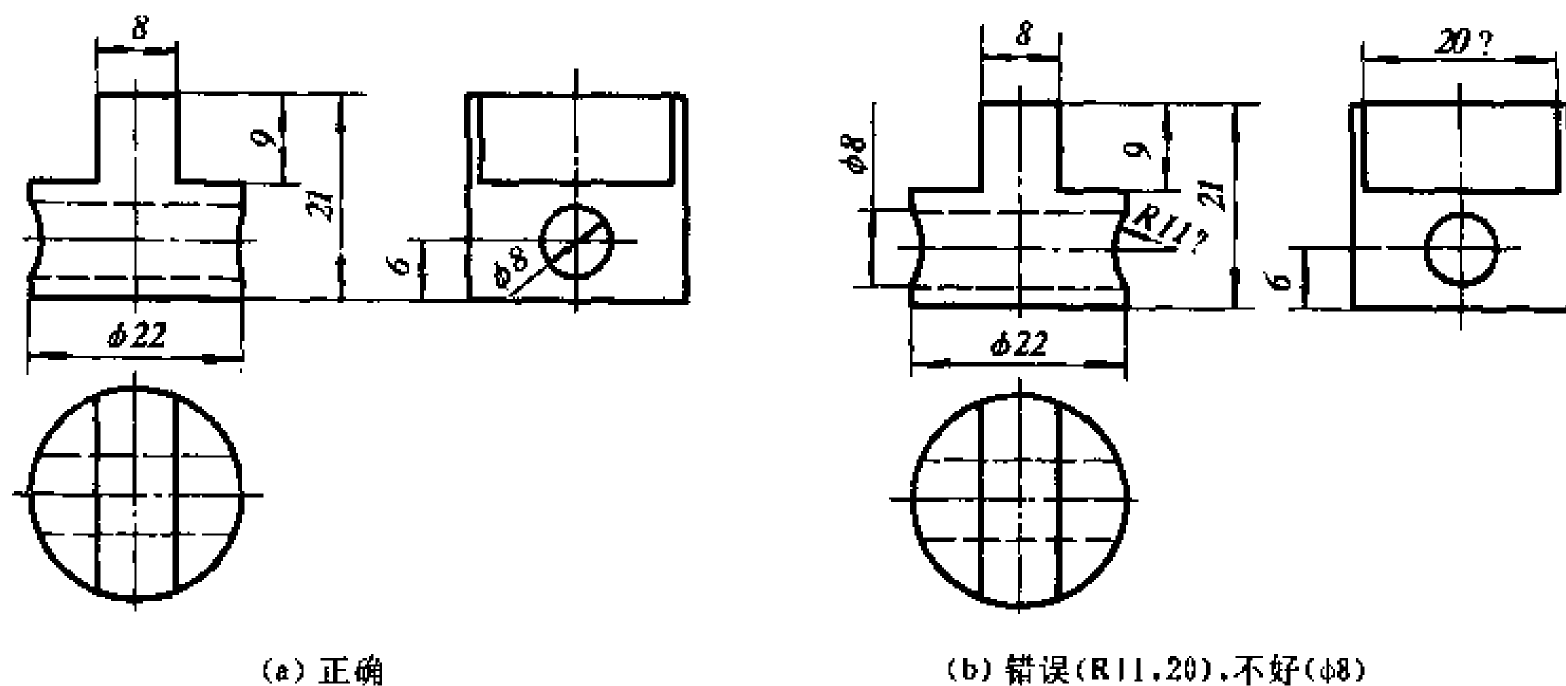
图 6-5　尺寸标注对比之三

(5) 同心圆较多时，直径尺寸不宜集中标注在反映圆的视图上，避免注成辐射形式，如图

6-5。

(6) 尺寸相互平行的内外结构，最好把这些尺寸按内外结构之别分开加以标注，如图 6-5。

(7) 截交线和相贯线上标注尺寸是错误的，虚线处尽量不要标注尺寸，如图 6-6。



(a) 正确　　(b) 错误(R11,20)，不好(ϕ8)

图 6-6　尺寸标注对比之四

(8) 尺寸应尽量注在视图外面，保持视图清晰。

以上诸点有时会出现不能完全兼顾的情况，应在保证尺寸正确、完整、清晰的前提下，合理布局。

例 6-1　轴承座的尺寸标注

图 6-7 中轴承座的尺寸是按照正确、完整、清晰的要求标注的。分析所注尺寸可知：

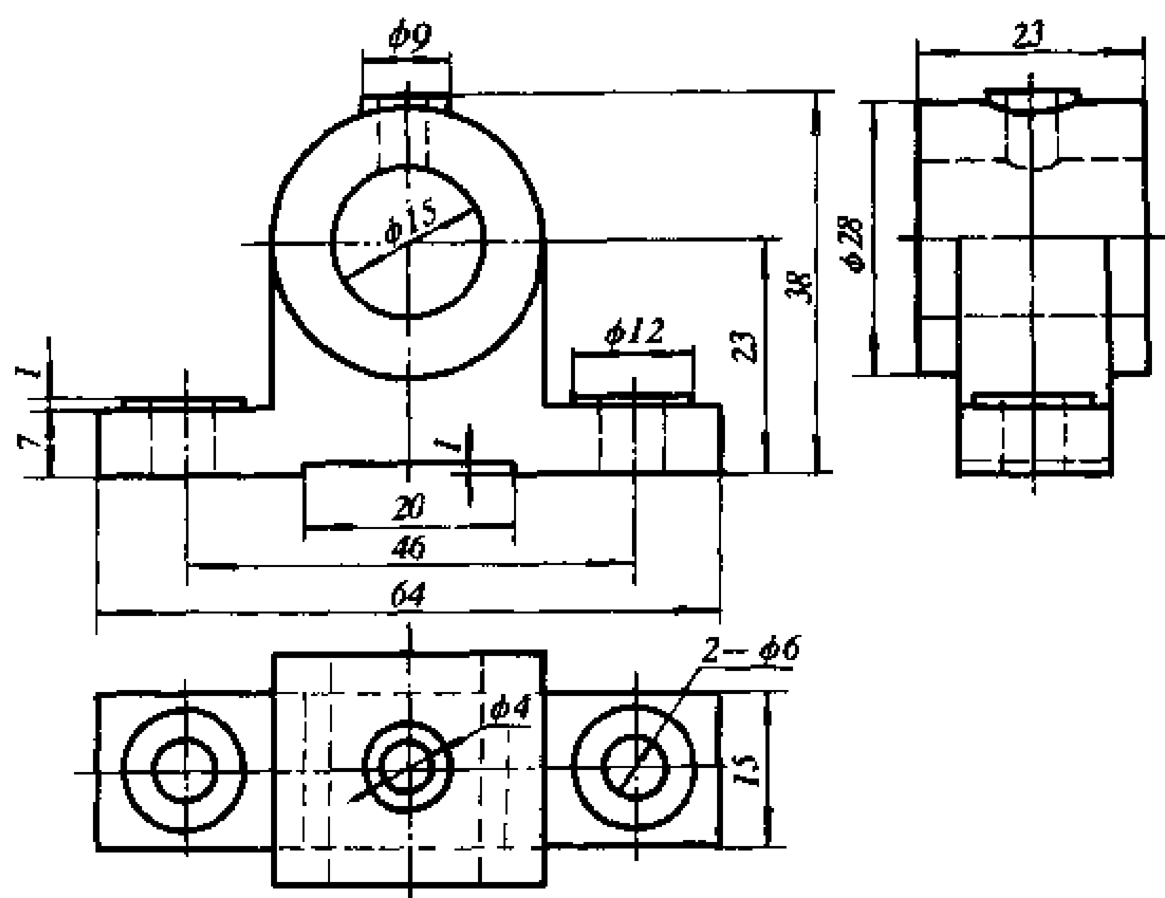


图 6-7　轴承座的尺寸标注

(1) 尺寸基准　高度尺寸基准 —— 轴承座底面；
长度尺寸基准 —— 对称平面中心线；
宽度尺寸基准 —— 对称平面中心线。

(2) 定位尺寸　23,46。

(3) 总体尺寸　高度为 38，长度为 64(与底板长度合用)，宽度为 23(与 ϕ28 圆筒宽度合

用)。

其余均为定形尺寸。

例 6-2 底座的尺寸标注

分析图 6-8 中所注尺寸可知：

(1) 尺寸基准 高度尺寸基准 —— 底座的底面；

长度尺寸基准 —— 半圆支板的左端面；

宽度尺寸基准 —— 对称平面中心线。

(2) 定位尺寸 半圆支板中心轴线离底面的高为 60，半圆支板与底座右端面为 100；底板中间半圆槽搭子中心与底板右端面为 20，180。

(3) 总体尺寸 长度为 220(与底板长度合用)，宽度为 110(与底板宽度合用)，高度方向由于是回转体轮廓，一般不注总体尺寸(即不注 60 + 40 = 100)，面标注回转体轴线高度 60。

其余均为定形尺寸。

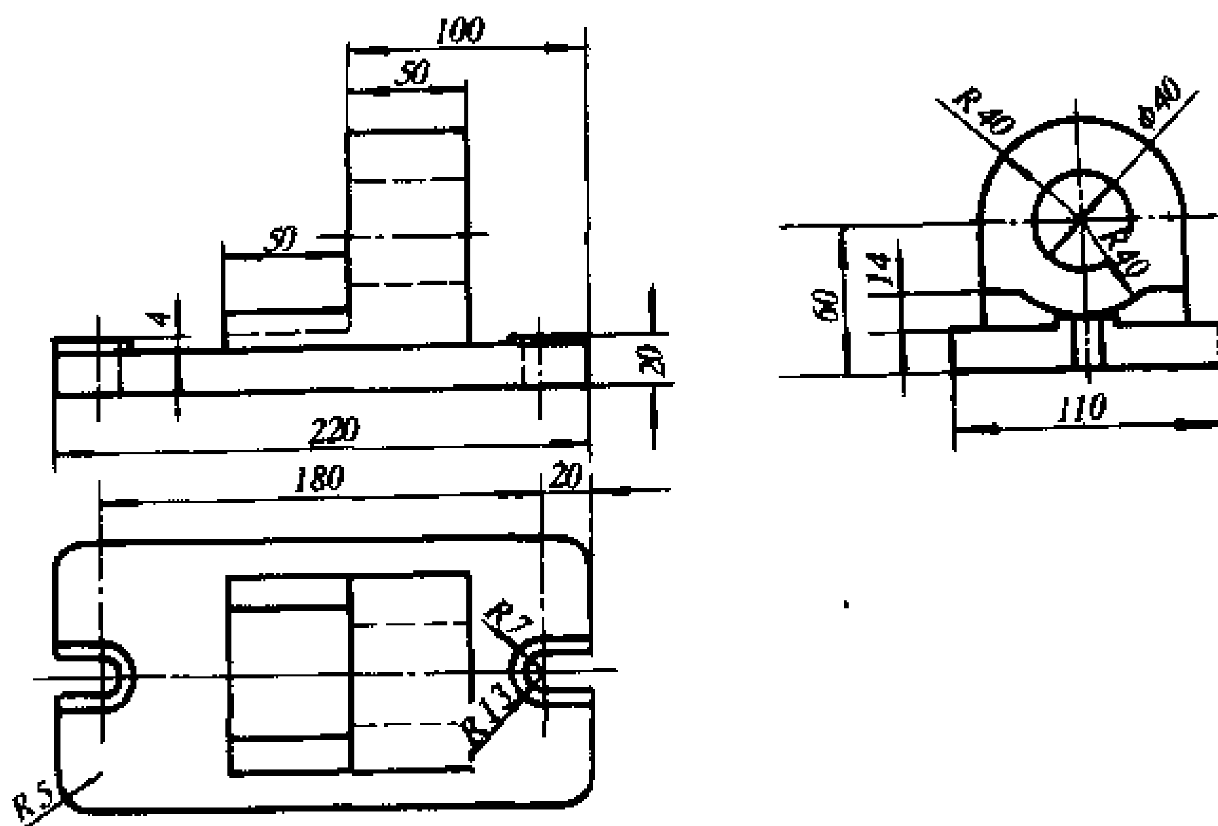


图 6-8 底座的尺寸标注

思 考 问 题

6.1 说明什么是尺寸基准。

6.2 正确标注尺寸，应符合__________的规定。

6.3 怎样才能使组合体尺寸标注完整?要使尺寸标注清晰，应考虑哪些问题?

6.4 为了使图样上标注的尺寸符合生产实际要求，首先应做到哪几点?

第7章　图样的画法

内容提要　本章介绍工程图样中常用的各种表达方法，如基本视图、斜视图、局部视图的画法；剖视图的形成、全剖、半剖、局部剖的画法；剖面图及其画法；以及局部放大图和简化画法等。此外简要地介绍第三角画法。

工程图样以正投影原理绘制的三个基本视图为基础，同时还根据看图清楚、绘图简便、完整清晰表达机件的要求，总结归纳出一些有效的表达方法。这些表达方法已在制图国家标准中作了统一的规定，在绘制工程图样时应严格遵守。以下介绍图样画法的主要内容。

7.1　视　图

7.1.1　基本视图

前面已学过主视图、俯视图和左视图，它们是在正立投影面、水平投影面和侧立投影面的三个基本投影面上所得到的视图，即：

主视图 —— 由前向后投射所得的视图；

俯视图 —— 由上向下投射所得的视图；

左视图 —— 由左向右投射所得的视图。

根据国家标准规定，基本投影面为正六面体的六个面，如图7-1所示，在原有三个基本投影面的基础上再增设三个基本投影面，在这增设的三个基本投影面上所得到的视图为：

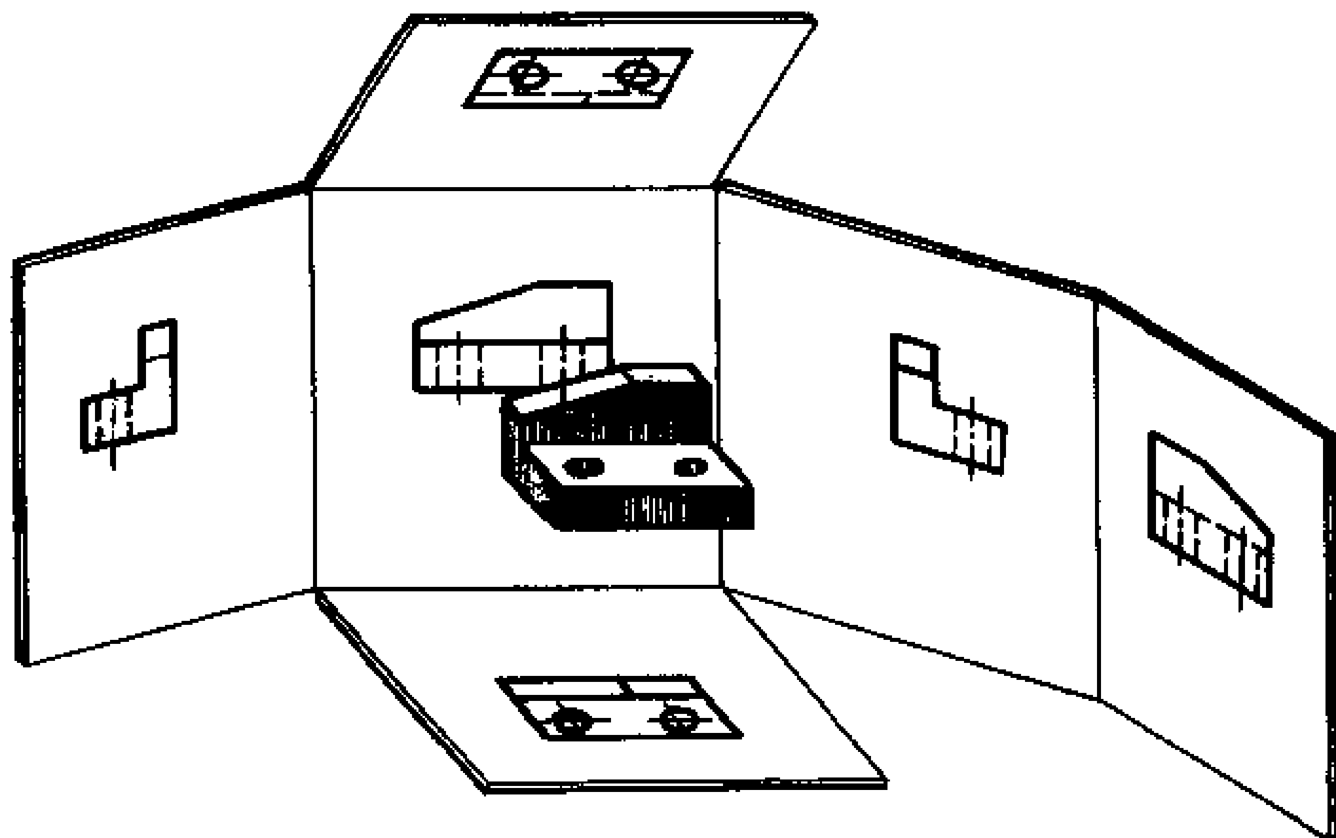


图7-1　六个基本投影面的展开方法

右视图 —— 由右向左投射所得的视图；

仰视图 —— 由下向上投射所得的视图；

后视图 —— 由后向前投射所得的视图。

以上六个视图称为基本视图。六个投影面的展开方法，如图 7-1 所示。

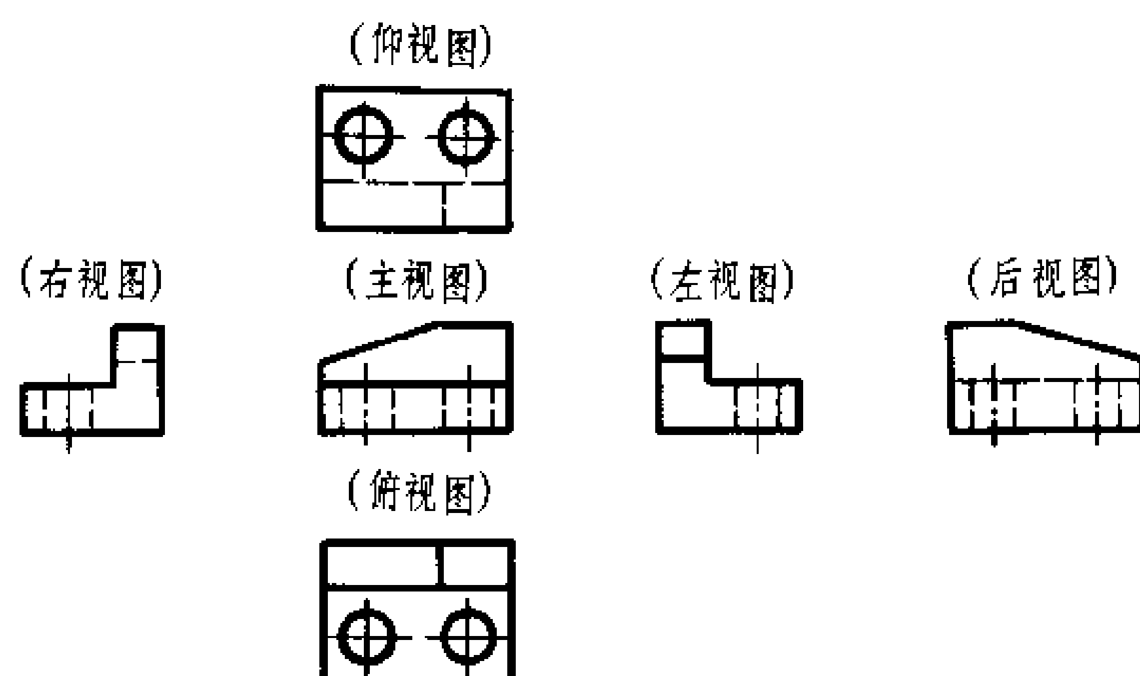


图 7-2　六个基本视图的配置

六个基本视图的配置关系，如图 7-2 所示。若不按图 7-2 配置视图时，应用有拉丁字母标注的箭头指明投影方向，如图 7-3 所示。

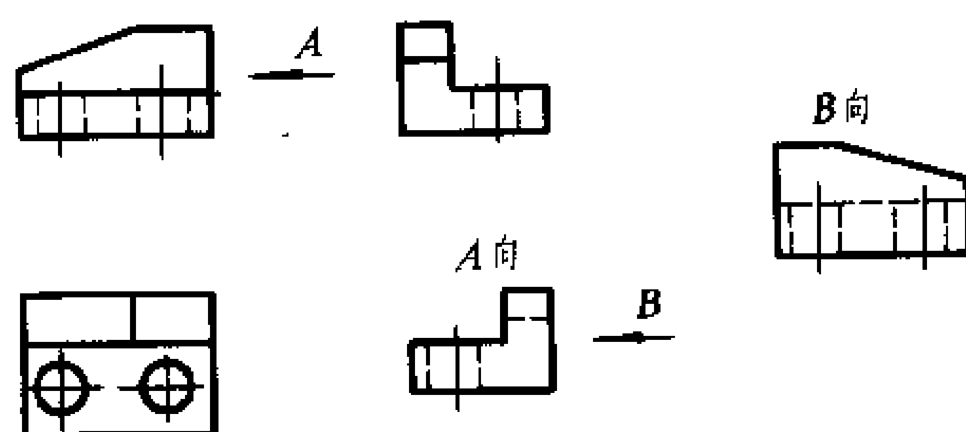


图 7-3　基本视图标注的方法

绘图时，应根据机件的形状和结构特点，选用必要的几个基本视图。

7.1.2　局部视图

不是机件整体而是一部分的视图

将机件的某一部分向基本投影面投射，所获得的视图称为局部视图，如图 7-4 所示。

绘图时，一般在局部视图的上方标出视图的名称"× 向"，在相应的视图附近用箭头指明投射方向，并注上同样的大写拉丁字母，如图 7-4 中的"A 向"、"B 向"和"C 向"。当局部视图按投影关系配置，中间又无其他图形隔开时，可省略标注，如图 7-4 中的"A 向"和"B 向"可省略不注。

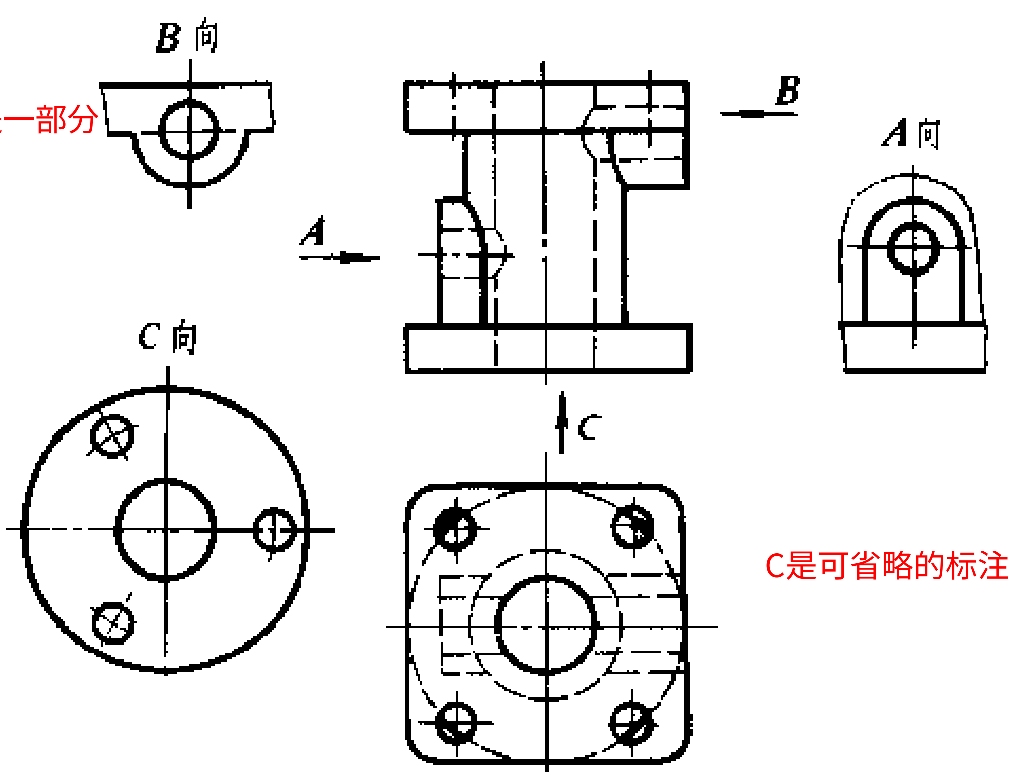


图 7-4　局部视图的画法

局部视图的范围应以视图轮廓线和波浪线的组合表示，如图 7-4 中"A 向"、"B 向"视图。当所表示的结构形状完整，且外轮廓线成封闭时，波浪线可省略，如图 7-4"C 向"视图。

7.1.3 斜视图

将机件向不平行于任何基本投影面的平面(斜投影面)投射而得到的视图,称为斜视图,如图 7-5 所示。

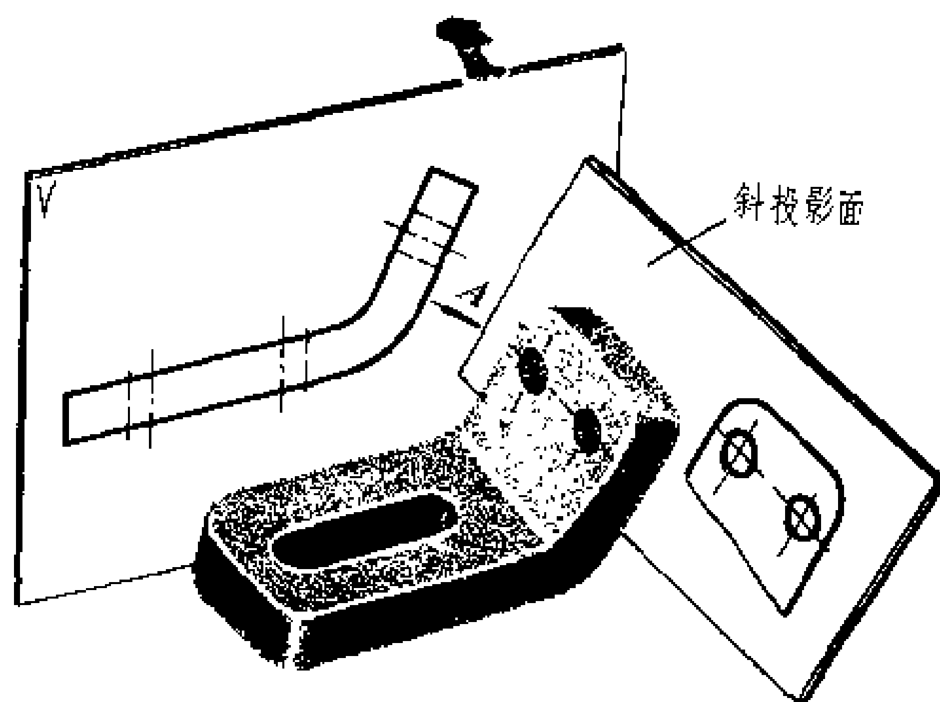


图 7-5 斜视图的形成

绘图时,必须在斜视图的上方标出视图的名称"× 向",在相应的视图附近用箭头指明投射方向,并注上同样的大写拉丁字母,如图 7-6a。通常斜视图按投影关系配置,必要时也可配置在其他适当位置。在不致引起误解时,允许将图形旋转,标注形式为"× 向旋转",如图 7-6b 所示。

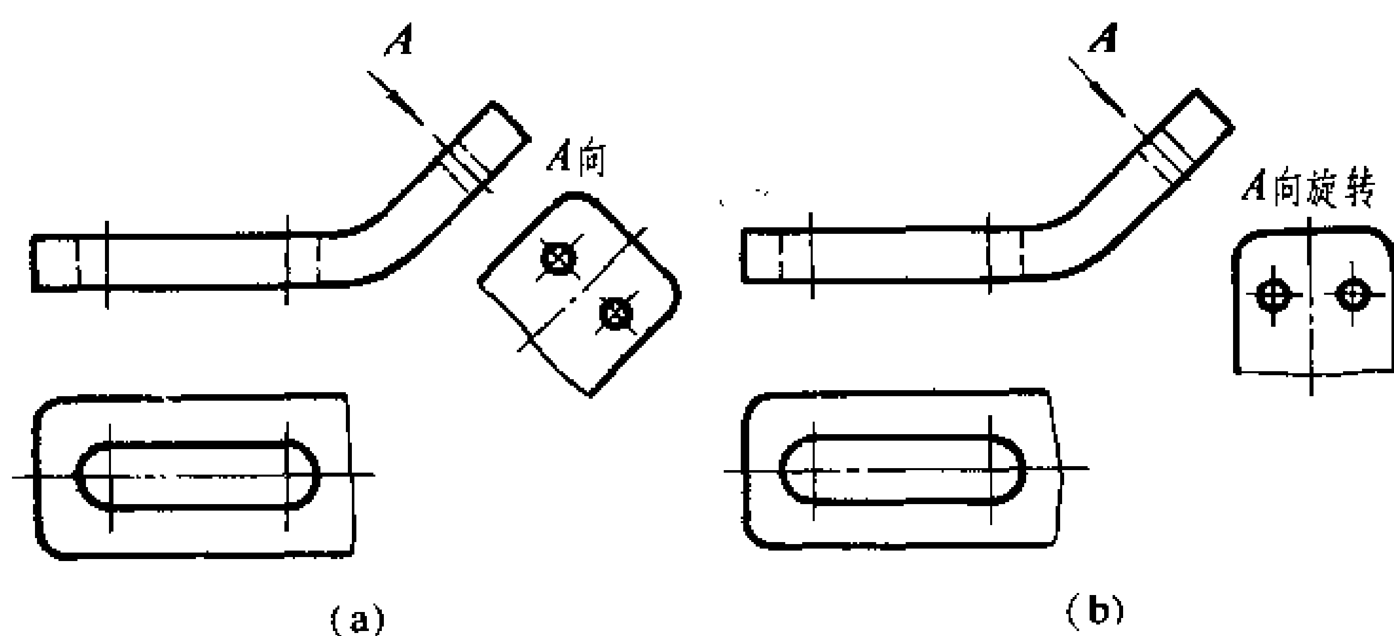


图 7-6 斜视图的画法

7.1.4 旋转视图

假设将机件上倾斜于基本投影面的部分旋转到与某一选定的基本投影面平行后,再向该投影面投射,这样得到的视图称为旋转视图,如图 7-7 所示。

7.2 剖视图

7.2.1 剖视图的形成及其画法

1. 剖视图的形成

机件内部的形状和结构,在视图上是用虚线表示的。当机件的内部形状复杂时,视图上就

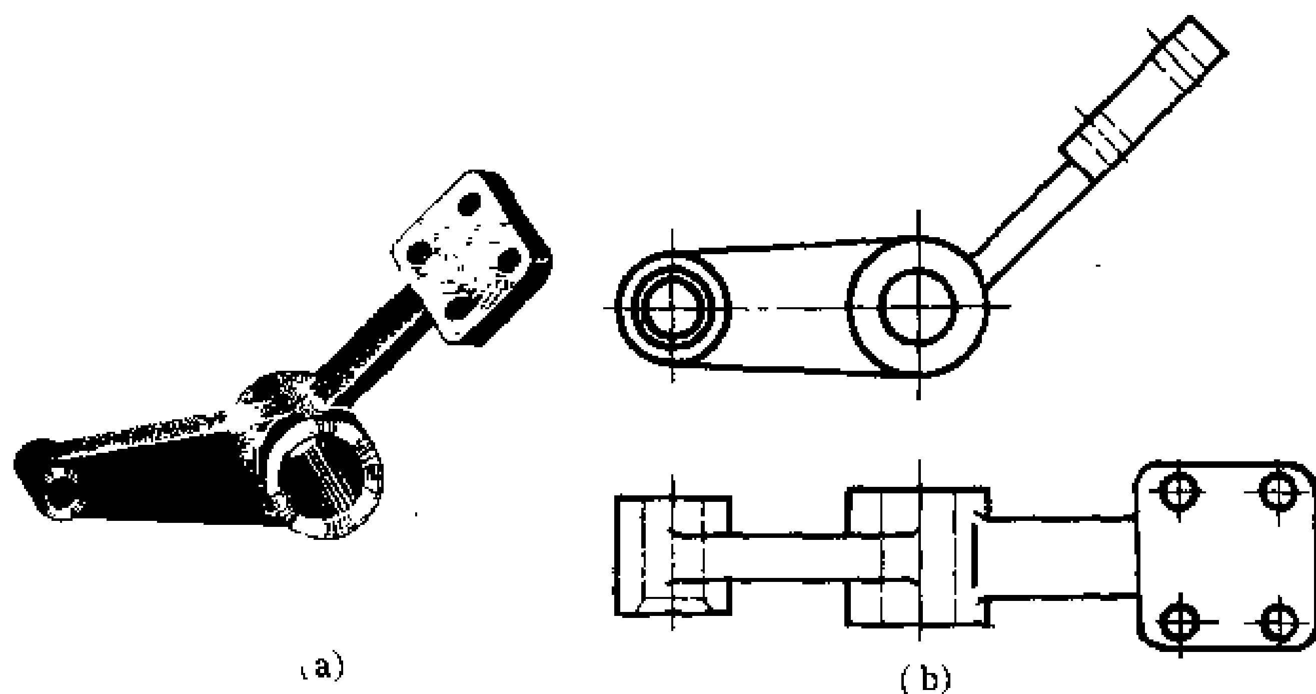


图 7-7　旋转视图的画法

有很多虚线，对看图、画图和标注尺寸均带来不便，如图 7-8 所示。

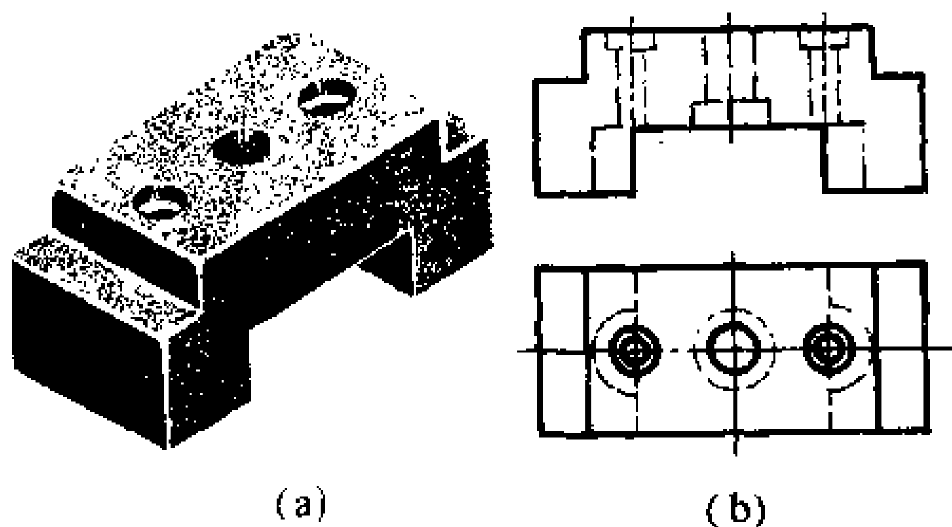


图 7-8　用虚线表示内部形状

为解决这个问题，可假想用剖切面在适当部位剖开机件，把处于观察者和剖切面之间的部分形体移去，而将余下的部分形体向投影面投射，这样所得的图形称为剖视图，简称剖视，如图 7-9 所示。在剖视图上，机件内部形状变为可见，原来不可见的虚线画成实线。为了分清楚机件上被剖切面所剖切的部分以及未被剖切的部分，规定被剖切到的部分应画上剖面符号。对不同的材料，应采用不同的剖面符号(详见第 1 章 1.1.5 剖面符号)。金属材料的剖面符号，画成与水平线成 45° 方向等间距的细实线，该线称为剖面线，如图 7-9 中主视图。同一机件的剖面线方向、间距应相同。

由于剖切是假想的，虽然机件的某个视图画成剖视图，而机件仍为完整的，所以其他视图的表达，都应是完整的。

剖视图是为了清楚地表示机件的内部结构形状，因此应该使剖切平面平行于投影面且尽量通过较多的内部结构(孔、槽等)的轴线或对称中心线、对称面等。

2. 画剖视图的方法和步骤

(1) 画出机件的视图，如图 7-9a。

(2) 确定剖切平面的位置。为了在主视图上表达出内部结构，故选用平行于正立投影面的剖切平面，且通过三处孔的轴线，然后画出剖切平面与机件的截交线，得到断面图形，并在其上画出剖面符号，如图 7-9b。

(3) 画断面后面的可见形体的投影，如图 7-9c 中大、小孔的台阶面的投影、半圆孔形体的

轮廓线等。

对于断面后边的不可见形体，如在其他视图上已表达清楚，通常是不再画出虚线。对于没有表达清楚的部分，必要时允许画出虚线。

(4) 校核，描深，并标注剖切平面的位置和剖视图的名称（详见 7.2.4 节）。在俯视图上用剖切符号（粗实线长约 5～10mm）表示出剖切平面的位置，在剖切符号的外侧画上与剖切符号相垂直的箭头表示投射方向，两侧写上同一字母，如图 7-9d 的俯视图；在所画的剖视图的上方中间位置用相同的字母标注出 $A - A$，如图 7-9d 的主视图。

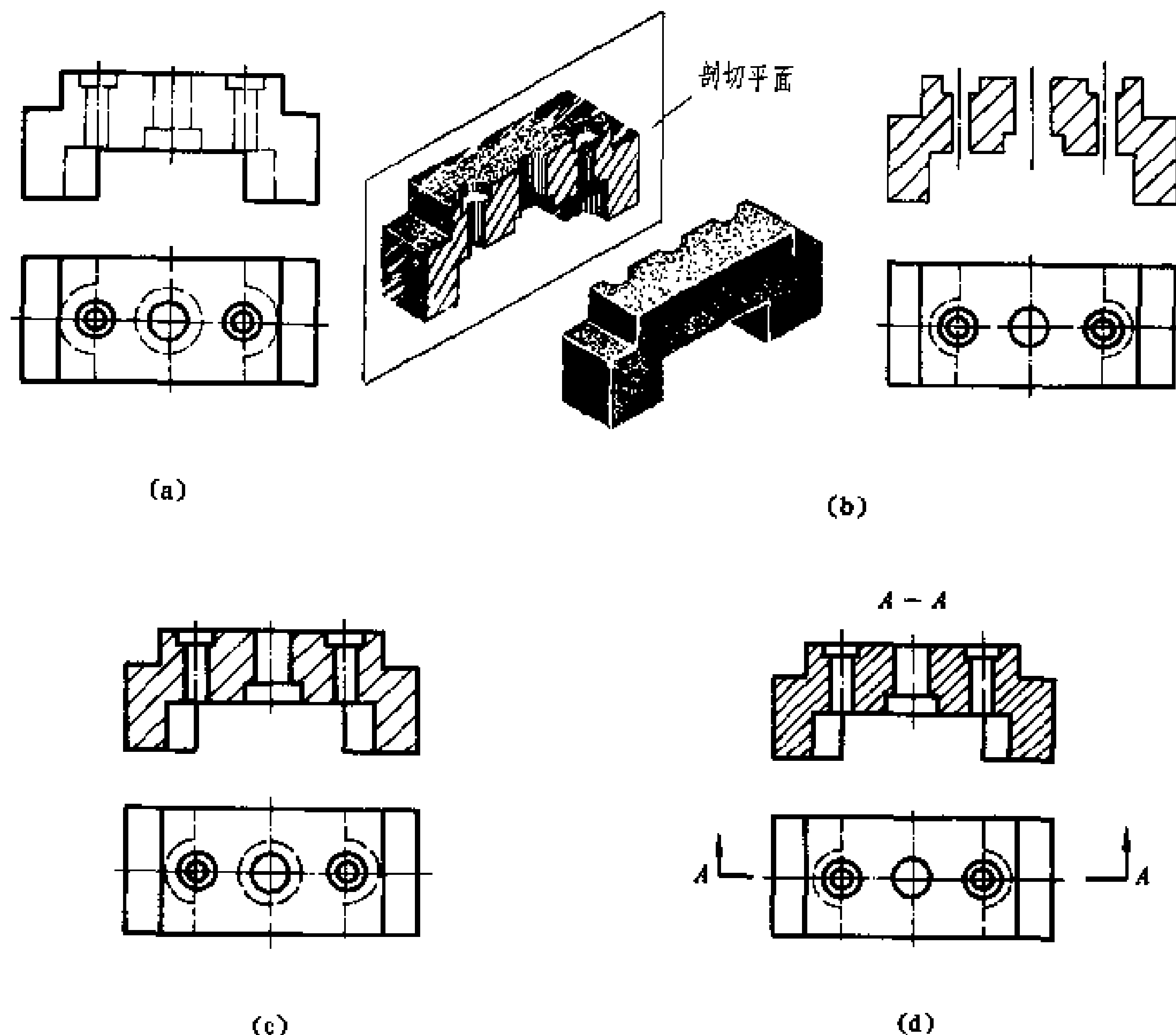


图 7-9　画剖视图的方法和步骤

7.2.2　剖切面的种类

1. 单一剖切面

用一个平面剖切机件称为单一剖，如图 7-9 所示。

2. 两相交的剖切平面

用两相交的剖切平面（交线垂直于某一基本投影面）剖切机件称为旋转剖，如图 7-10。

采用这种方法画剖视图时，先假想按剖切位置剖开机件，然后将被剖切平面剖开的结构旋转到与选定的投影面平行，再进行投射。在剖切平面之后的机件上、其他结构形状一般仍按原来位置投射，如图 7-11 俯视图中的小孔。应用旋转剖时，机件上通常具有回转轴线。

3. 几个平行的剖切平面

用几个平行的剖切平面剖开机件称为阶梯剖，如图 7-12 所示。

采用这种方法画剖视图时，假想由几个平行剖切平面剖切机件所得到的剖视图是在同一平面上，因此不画出剖切平面转折处的分界面的投影，如图 7-13a。但要注意的是，在剖视图上

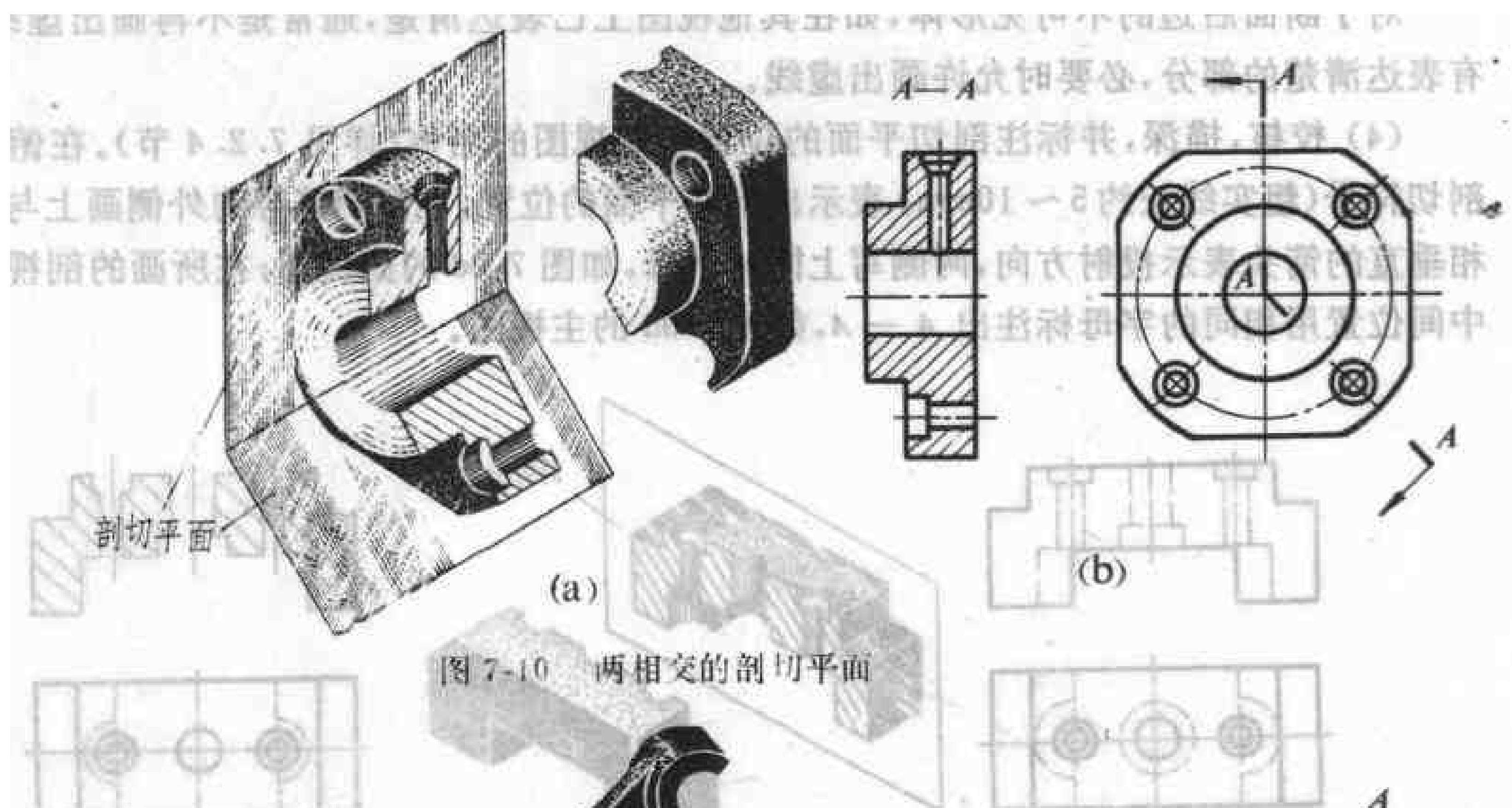


图 7-10　两相交的剖切平面

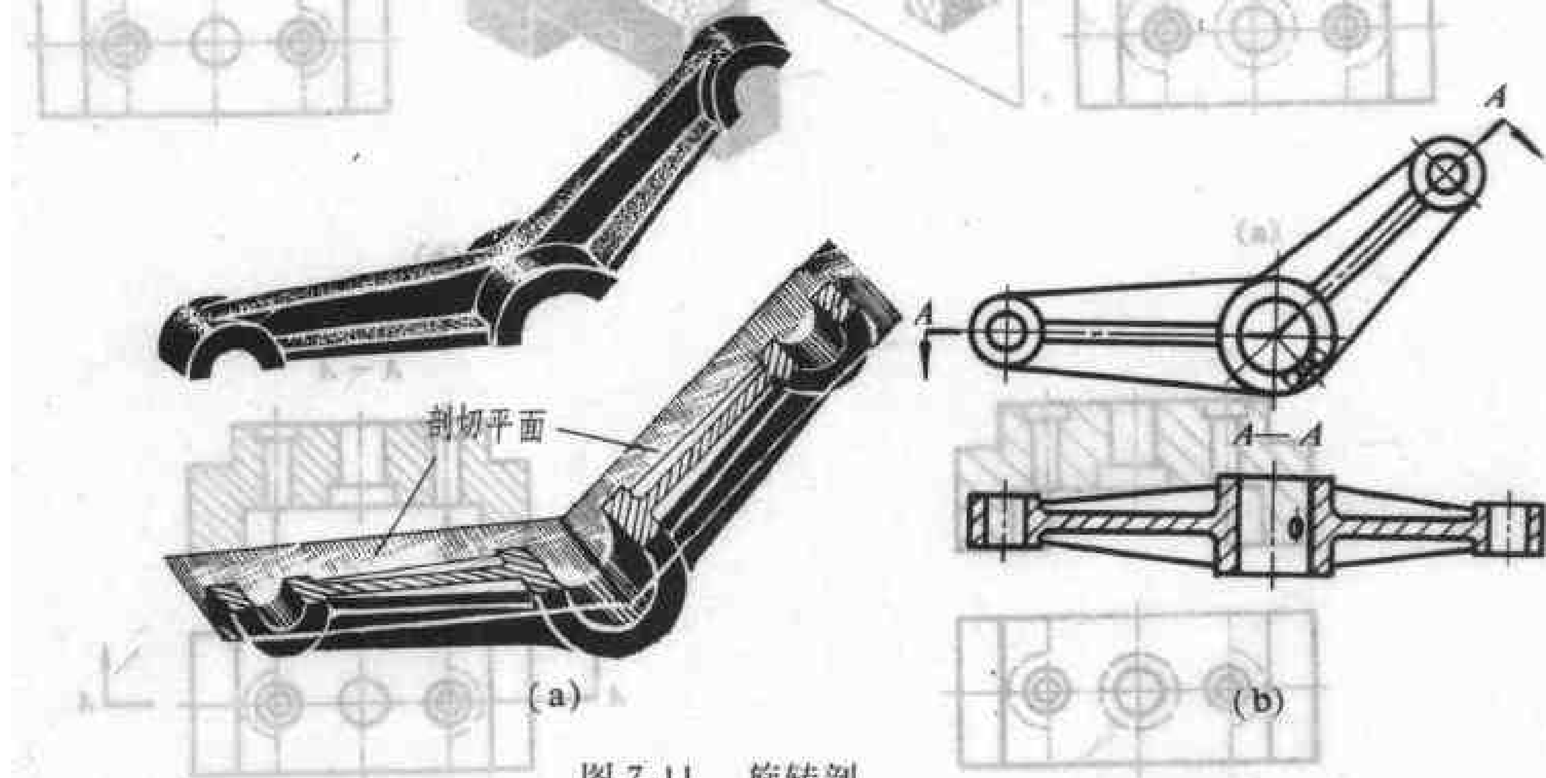


图 7-11　旋转剖

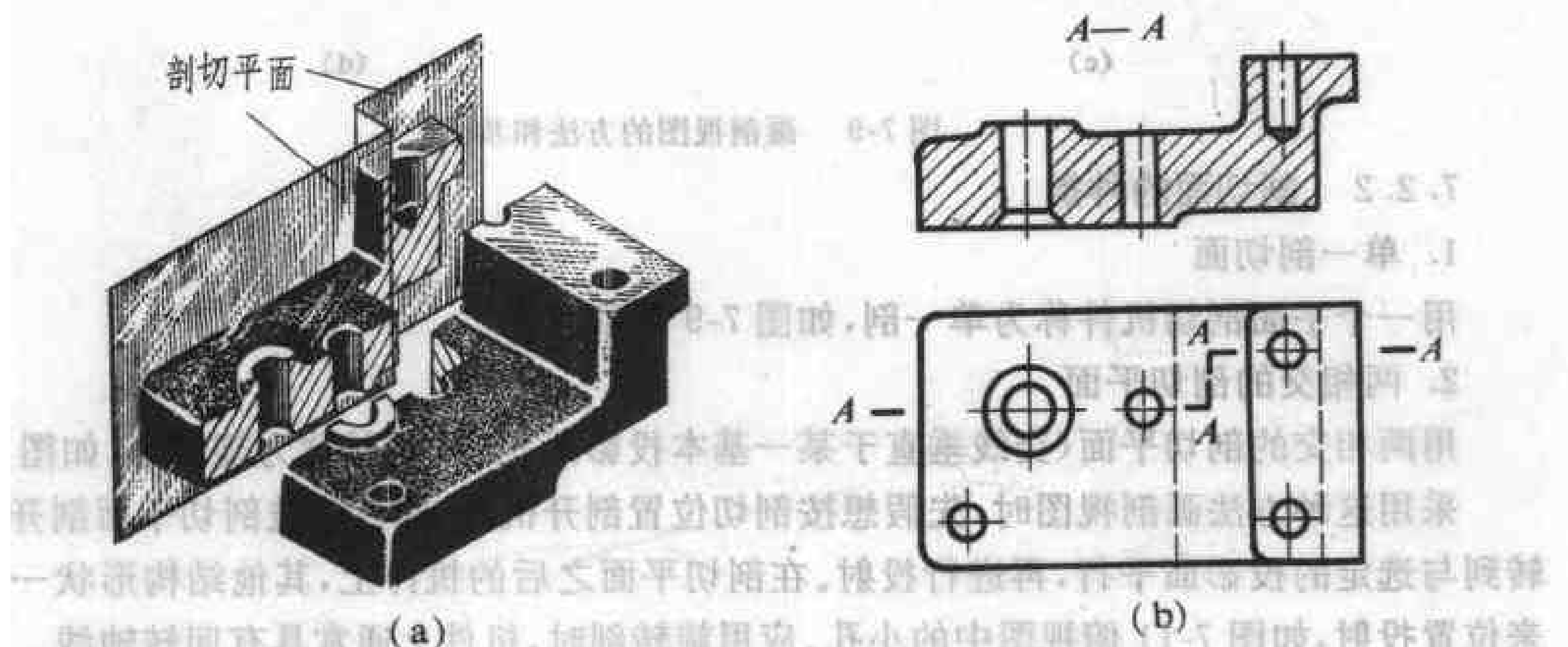


图 7-12　阶梯剖

不应出现不完整的孔、槽等元素，如图 7-13b 所示。只有当两个元素在图形上具有公共对称中心线或轴线时，可以各画一半，此时应以对称中心线或轴线为界，如图 7-13c 所示。

4. 组合的剖切平面

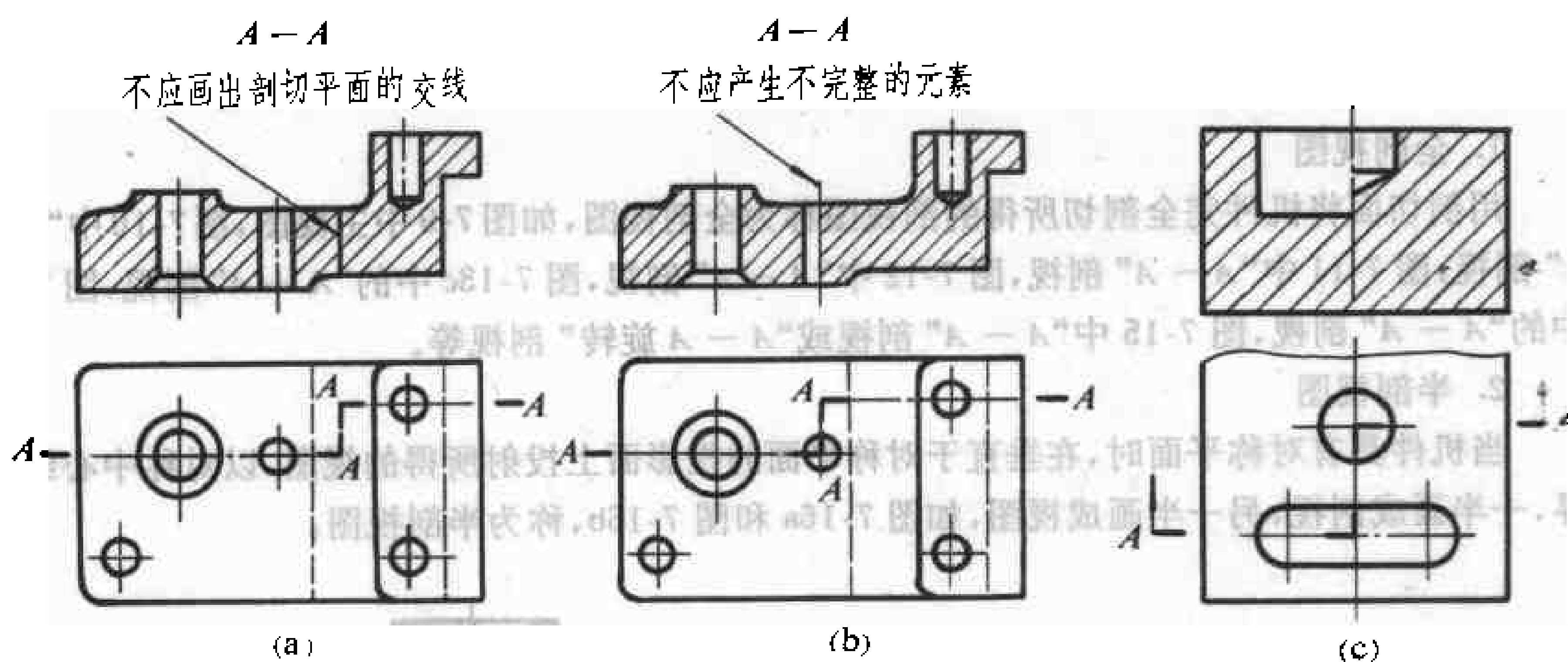


图 7-13　画阶梯剖时的注意点

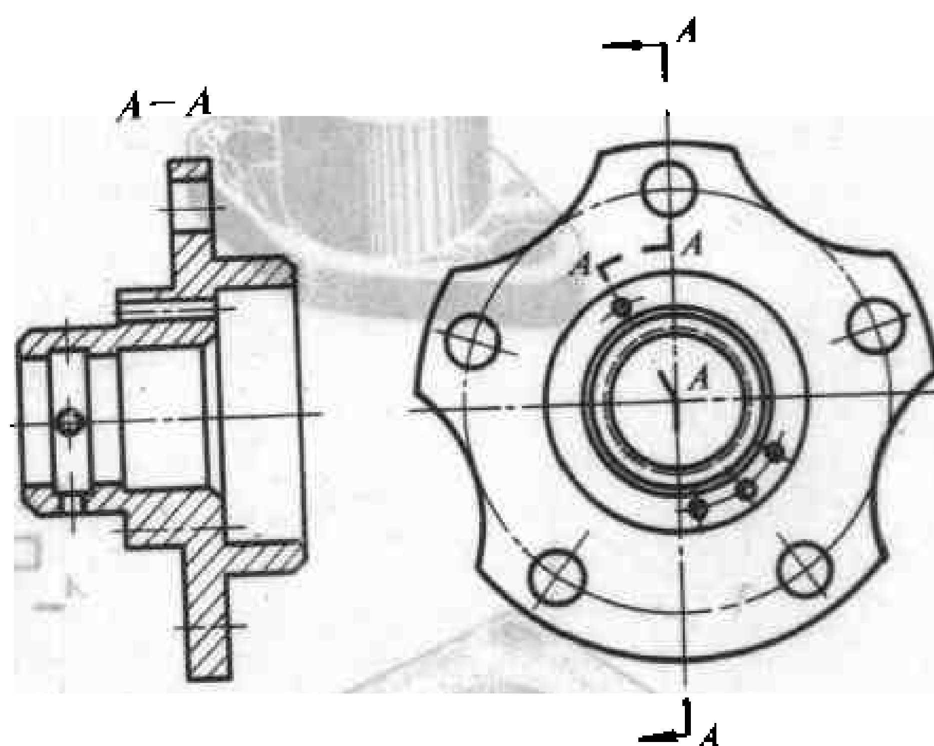


图 7-14　复合剖

除了旋转剖、阶梯剖以外，还可用组合的剖切平面剖开机件，这种剖切方法称为复合剖，如图 7-14 所示。

5. 不平行于任何基本投影面的剖切平面

用不平行于任何基本投影面的剖切平面剖开机件称为斜剖，如图 7-15 所示。

采用斜剖画剖视图时，可按照箭头所指的投射方向画出斜剖视图形。在不致引起误解时，允许将图形旋转，此时的标注应为“A － A 旋转”。

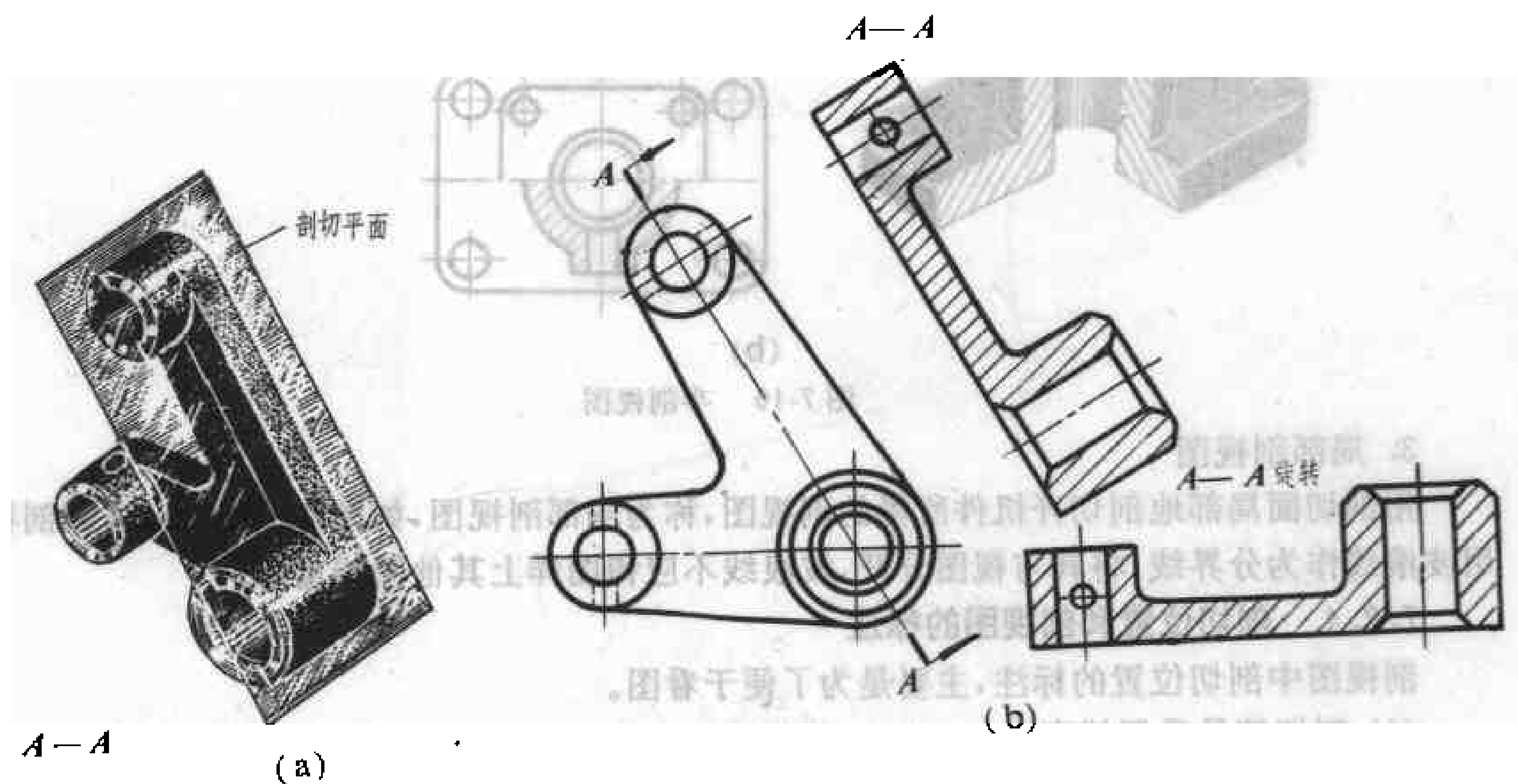


图 7-15　斜剖

7.2.3　剖视图的种类

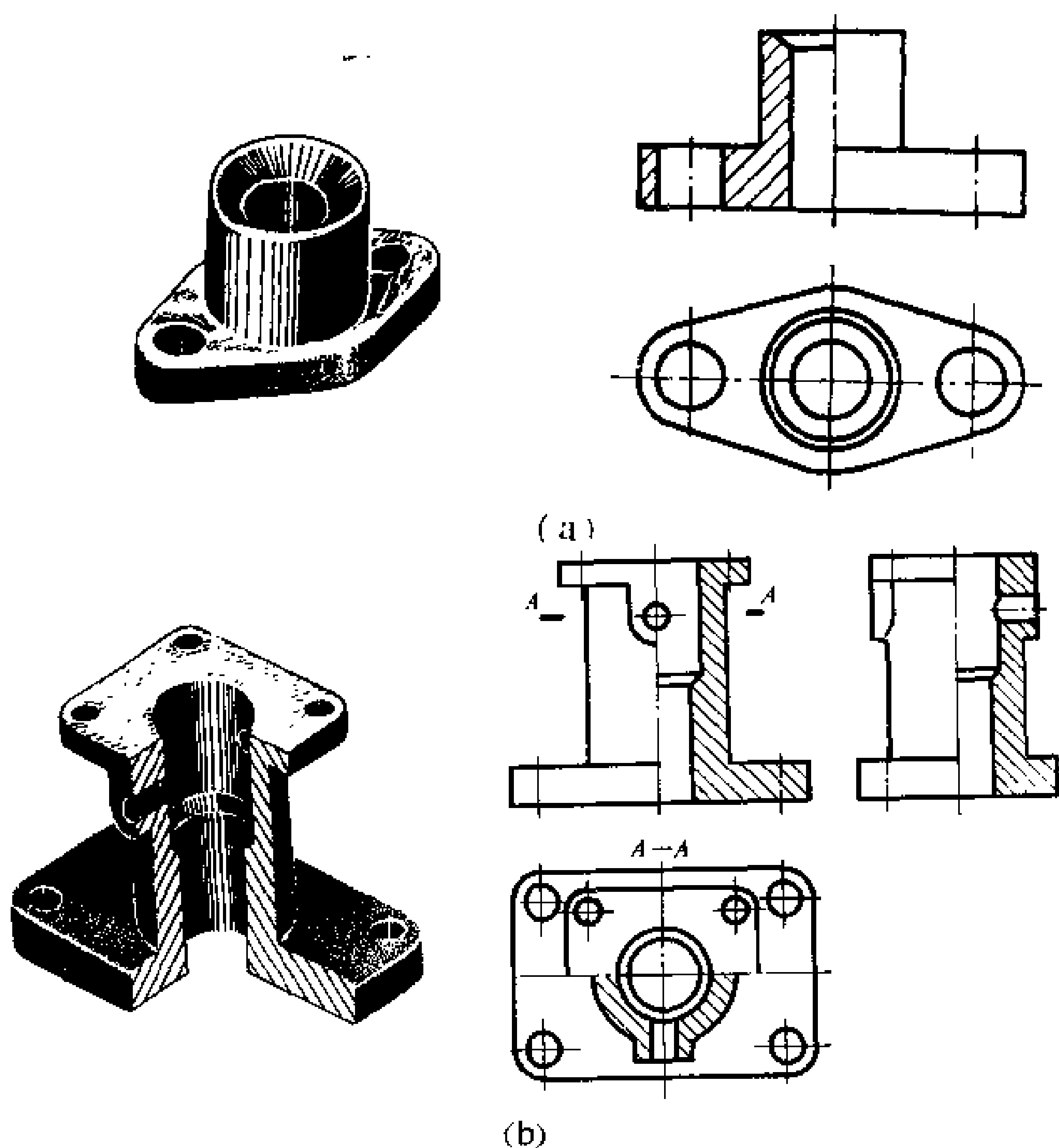
运用上节所述的剖切面，作出的剖视图有三种。

1. 全剖视图

用剖切面将机件完全剖切所得的剖视图称为全剖视图，如图 7-9 中主视图，图 7-10 中“$A-A$”剖视，图 7-11 中“$A-A$”剖视，图 7-12 中“$A-A$”剖视，图 7-13c 中的“$A-A$”剖视，图 7-14 中的“$A-A$”剖视，图 7-15 中“$A-A$”剖视或“$A-A$ 旋转”剖视等。

2. 半剖视图

当机件具有对称平面时，在垂直于对称平面的投影面上投射所得的视图，以对称中心线为界，一半画成剖视，另一半画成视图，如图 7-16a 和图 7-16b，称为半剖视图。



(b)

图 7-16　半剖视图

3. 局部剖视图

用剖切面局部地剖切开机件所得的剖视图，称为局部剖视图，如图 7-17 所示。局部剖视图用波浪线作为分界线，将其与视图分开，波浪线不应和图样上其他图线重合。

7.2.4　剖切位置和剖视图的标注

剖视图中剖切位置的标注，主要是为了便于看图。

(1) 剖切符号采用线宽为 1～1.5b 的断开粗实线；它应尽可能不与图形的轮廓线相交；在它的起、迄点和转折处应用相同的字母标出，但当转折处的地位有限，又不致引起误解时，允许省略标注。总之，剖切符号是表示剖切面的位置和剖视图的投射方向。

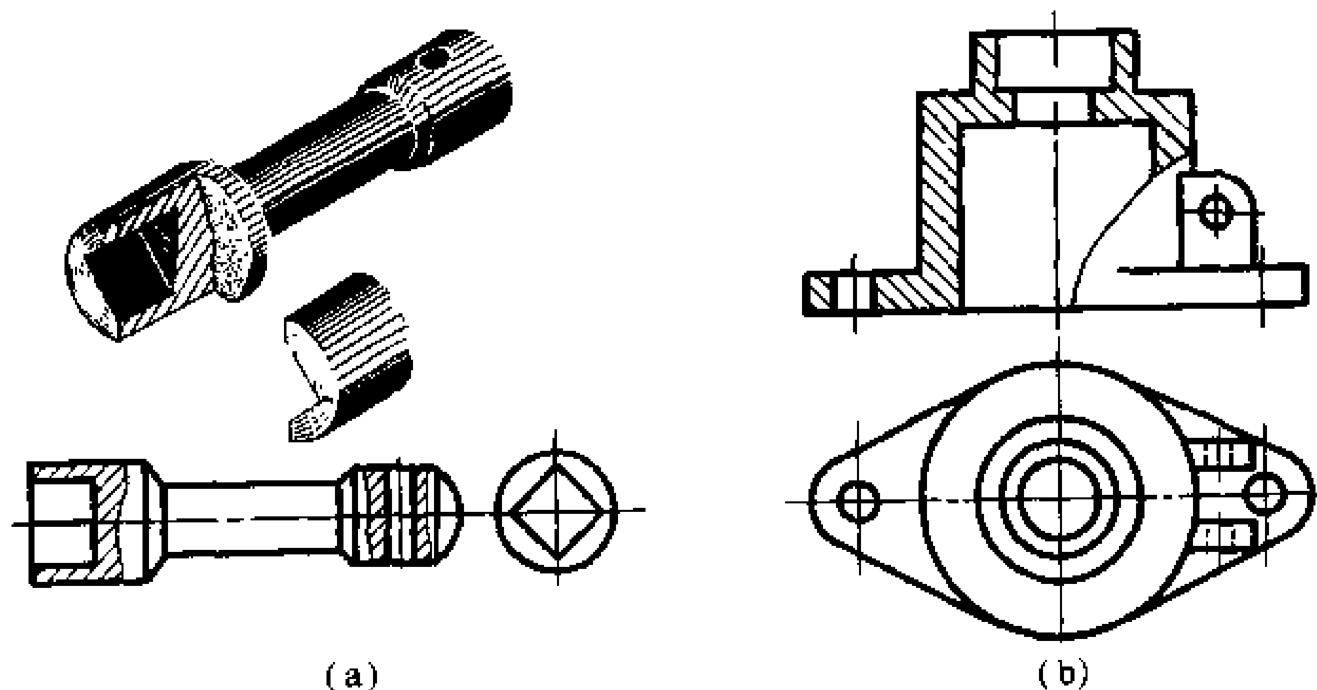


图 7-17 局部剖视图

(2) 基本视图配置的规定同样适用于剖视图，如图 7-18 中“$B-B$”剖视。剖视图也可按投射关系配置在与剖切符号相对应的位置，如图 7-18 中“$A-A$”剖视。必要时，剖视图同样允许配置在其他适当位置。

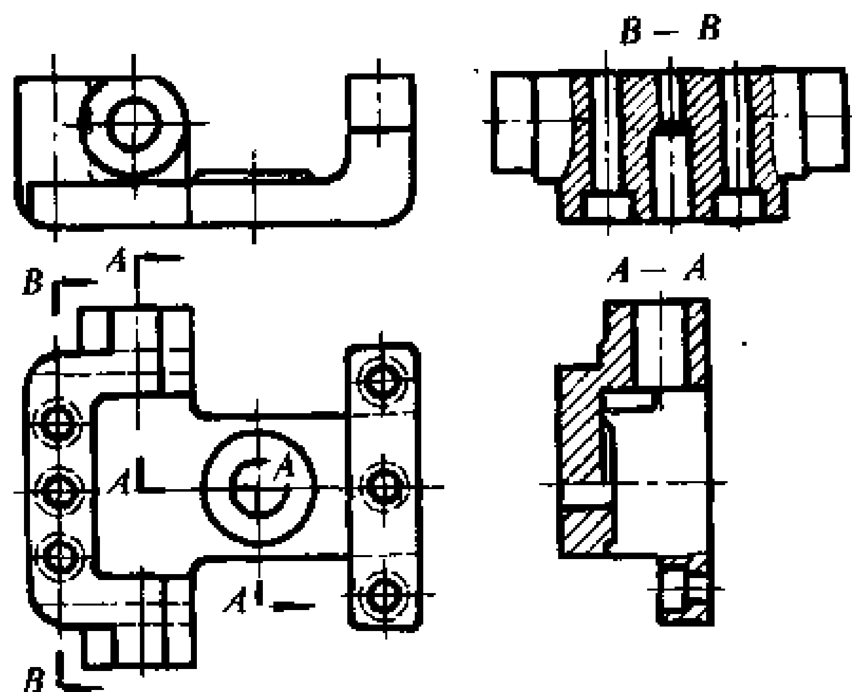


图 7-18 剖视图位置的配置

(3) 一般在剖视图的上方用拉丁字母标出剖视图的名称，如图 7-18 中“$A-A$”、“$B-B$”剖视。在相应的视图上用剖切符号表示剖切位置，并用箭头表示投影方向，注上同样的拉丁字母。

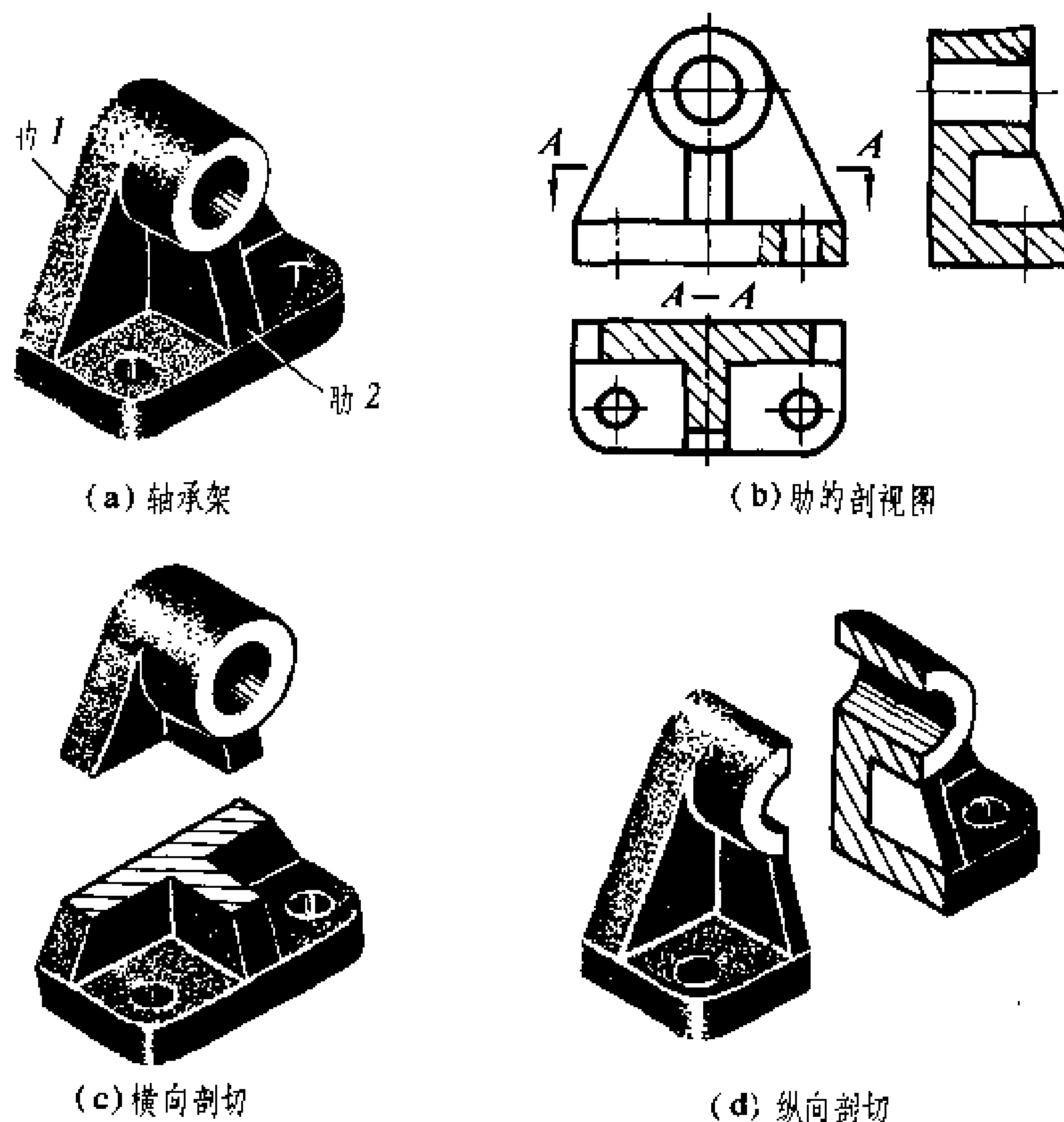
(4) 当剖视图按投射关系配置，且中间又没有其他图形隔开时，可以省略箭头，如图 7-12 中“$A-A$”剖视及图 7-16b 中“$A-A$”剖视。

(5) 当单一剖切平面通过机件的对称平面或基本对称的平面，且剖视图按投影关系配置，中间又没有其他图形隔开时，剖切符号可省略标注，如图 7-9b 中主视图、图 7-16b 中主视图和左视图。

(6) 当单一剖切平面的剖切位置明显时，局部剖视图的标注可省略，如图 7-17a 及图 7-17b 的主视图。

7.2.5 剖视图上的简化画法

对于机件上的肋、轮辐及薄壁等结构，若是纵向剖切(通过其基本轴线或对称平面)，这些结构在剖视图上都不画剖面符号，而用粗实线将它与其邻接部分分开，如图 7-19。由图可见轴



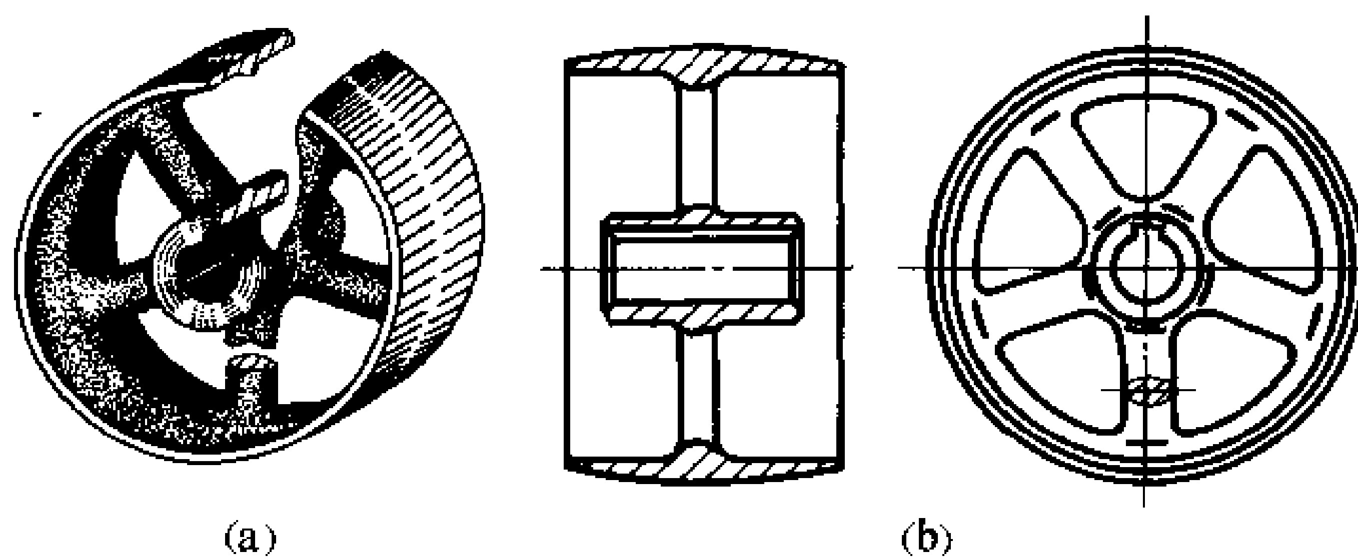
(a) 轴承架　(b) 肋的剖视图

(c) 横向剖切　(d) 纵向剖切

图 7-19　剖视图上肋的画法

承架的圆筒是用肋 1 和肋 2 支撑(a 图),其左视图、俯视图都是全剖视图(b 图)。在左视图上由于肋 2 被剖切平面纵向剖切(d 图),故肋上不画剖面线;但在俯视图上,肋 1 和肋 2 均被剖切平面横向剖切(c 图),故肋上要画出剖面线。

又如图 7-20 皮带轮的轮辐,在主视图中为纵向剖切,也按规定不画剖面线。



(a)　(b)

图 7-20　剖视图上轮辐的画法

7.2.6　剖视图选用举例

剖视图较常用的是全剖视图、半剖视图和局部剖视图。选用时应根据形体的特点,以充分表达出内外形状为原则,同时要适合于画剖视图为条件,进行合理的选用。

试将三通接头(图 7-21a)的三个视图选用适合的剖视图。

分析:三通接头的形体是由两圆柱体垂直相贯,上、下及左边的接头主要为平面立体,在这

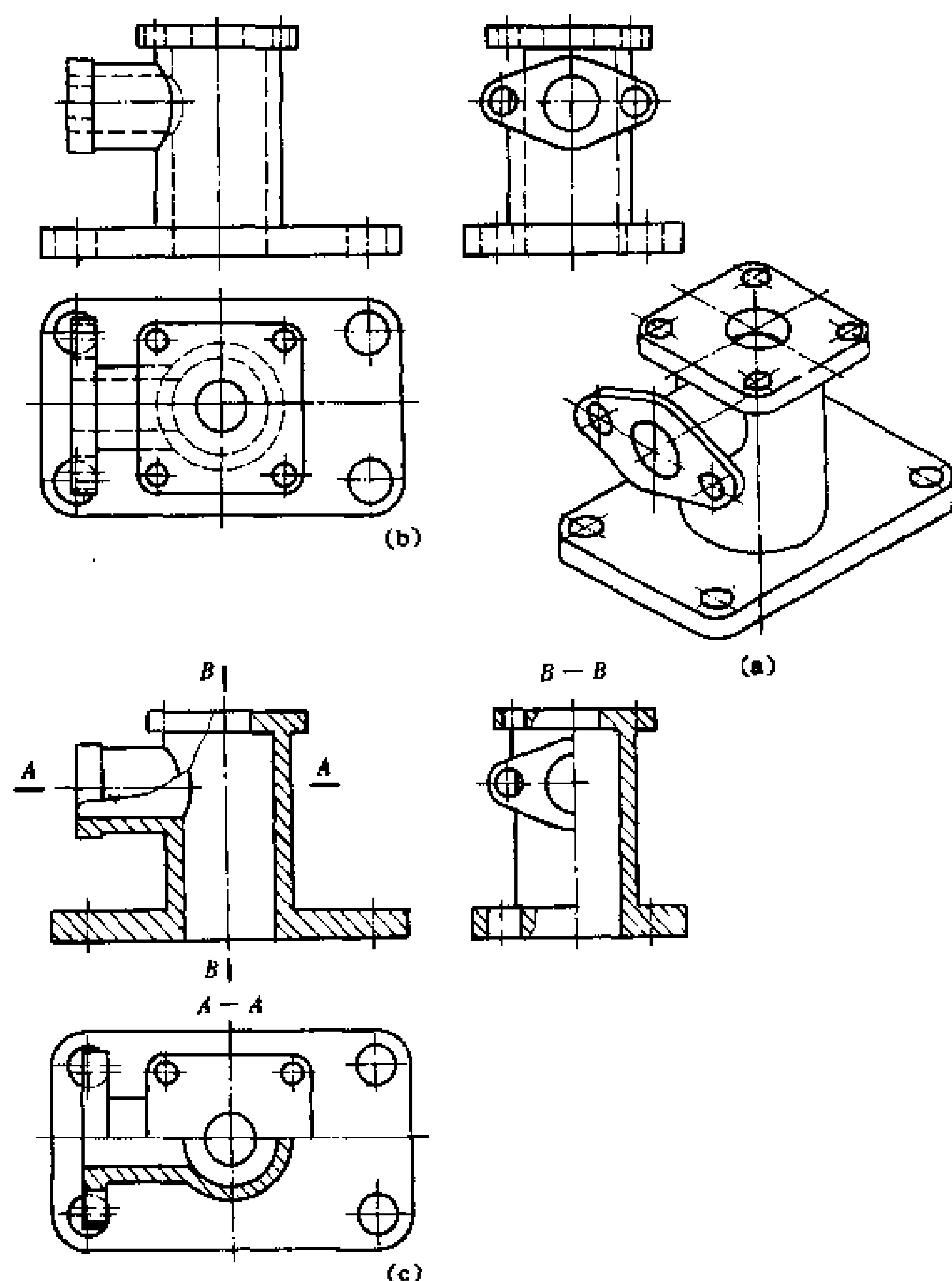


图 7-21 剖视图表达示例

些形体上均开有圆孔，因此视图上虚线较多。

主视图：图形左右不对称，外形两圆柱和内部两圆孔均相贯，宜于表示，故选用通过两圆柱（两圆孔）垂直相交的轴线，并平行 V 面的剖切平面，用局部剖视表示，如图 7-21c 的主视图。由于是从形体的对称面处剖切的，故不需标注。

俯视图：图形为前后对称，在表示出上、下接头的形状的同时，为了表达出圆柱的壁厚和左边接头上的小孔，故选用了 $A-A$ 半剖视，剖切平面通过水平圆柱轴线且平行于 H 面，如图 7-21c 的单一半剖视的俯视图。该剖视图应标注，但表示剖视方向的箭头可省。

左视图：为对称图形。为了表示左边接头外形以及垂直圆柱，故选用 $B-B$ 半剖视图。剖切平面通过垂直圆柱轴线且平行 W 面，该视图也应标注。为了表示上、下接头上各四个通孔，故在未剖的半个视图上选用两个局部剖视。如图 7-21c 单一半剖视及两处单一局部剖视的左视图。

由此例可知，凡采用了剖视图，虚线通常是不画的，但等分孔的轴线还应画出。

7.3 剖面图

7.3.1 剖面图的形成

假想用剖切平面将机件的某处切断(剖切平面必须与主要轮廓线或基本轴线垂直),仅画出断面的图形,这种图称为剖面图,简称剖面,如图 7-22 所示。剖面图用于表示机件上某处的断 面结构和形状。画剖面图时,应将剖切的断面绕剖切符号旋转 90° 重合在图面上,并在剖切的断面上画剖面线。

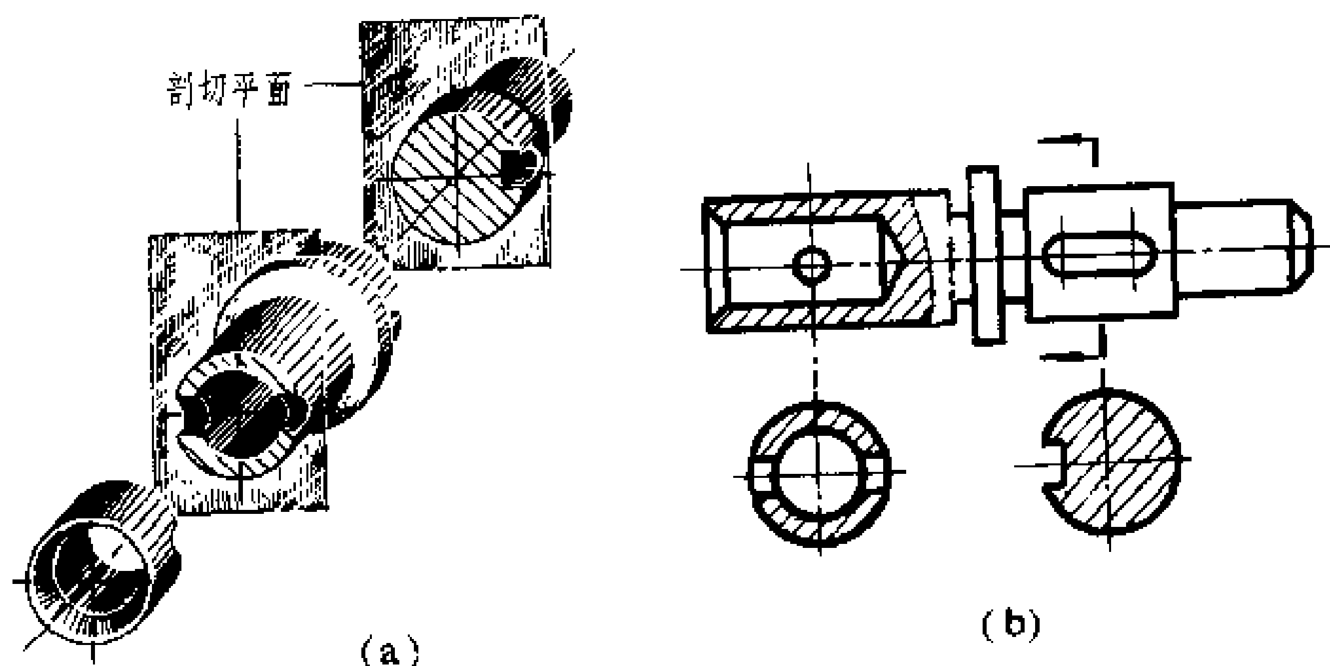


图 7-22 剖面图

7.3.2 剖面图的种类

剖面图分为移出剖面图和重合剖面图。

1. 移出剖面图

剖面图画在视图之外,称为移出剖面图。画移出剖面图应注意:

(1) 移出剖面的轮廓线用粗实线绘制,如图 7-22 所示。

(2) 移出剖面应尽量配置在剖切符号或剖切平面迹线的延长线上,如图 7-22b 所示。剖切平面迹线是剖切平面与投影面的交线,用细点划线表示。

必要时,可以将移出剖面配置在其他适当的位置。在不致引起误解时,允许将图形旋转,其标注形式如图 7-23 中的"$A-A$"剖面、"$B-B$ 旋转"剖面以及"$D-D$ 旋转"剖面。

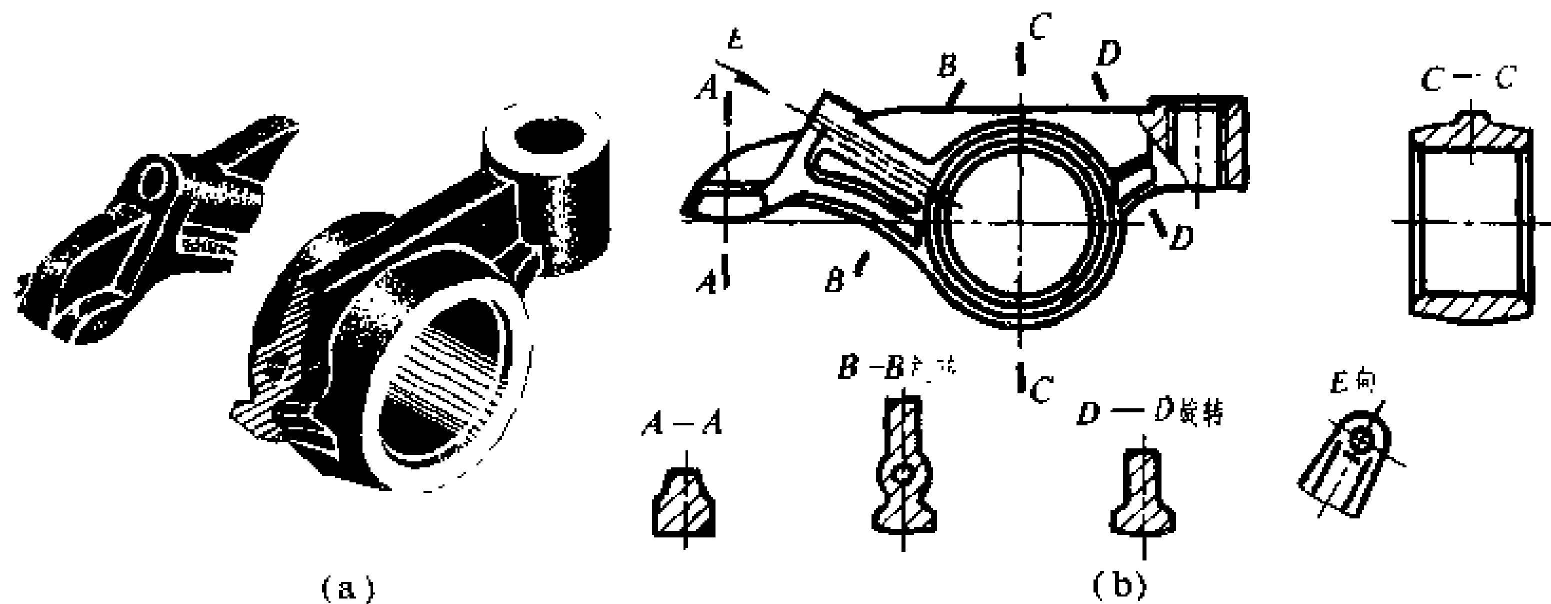


图 7-23 移出剖面图画法之一

(3) 由两个或多个相交的剖切平面剖切机件所得出的移出剖面，中间一般应断开，如图7-24所示。

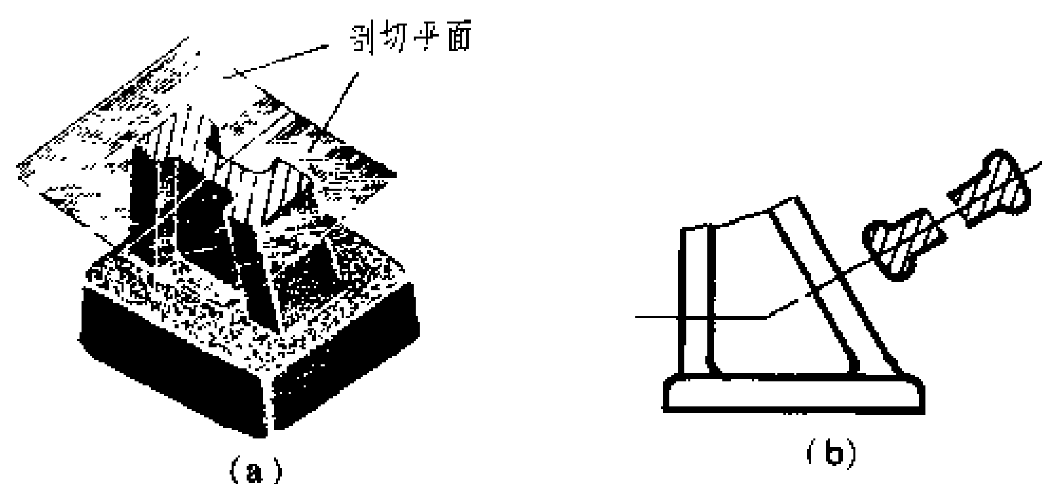


图 7-24　移出剖面图画法之二

(4) 当剖切平面通过回转面形成的孔或凹坑的轴线时，这些结构均按剖视绘制，如图7-25所示。当剖切平面通过非圆孔，但会导致出现完全分离的两个剖面时，则这些结构也应按剖视绘制，如图7-26所示。

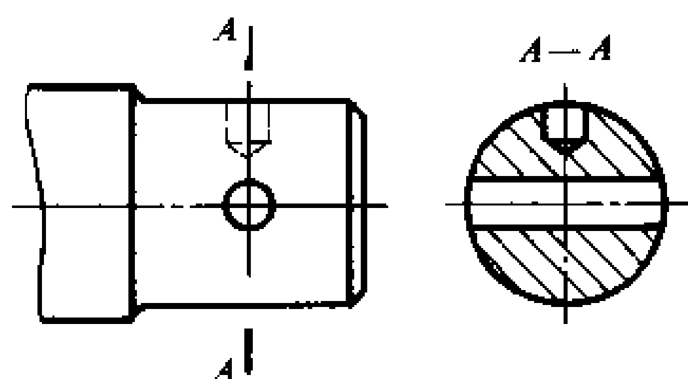


图 7-25　移出剖面图画法之三

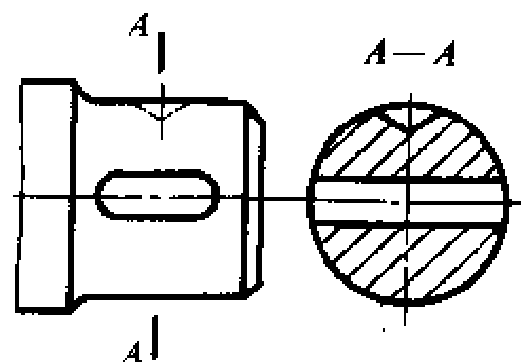


图 7-26　移出剖面画法之四

2. 重合剖面图

剖面图重合在视图轮廓上的称为重合剖面图。重合剖面的轮廓线用细实线绘制，如图7-27所示。当视图中的轮廓线与重合剖面重叠时，视图中的轮廓线仍应连续画出，不可间断。

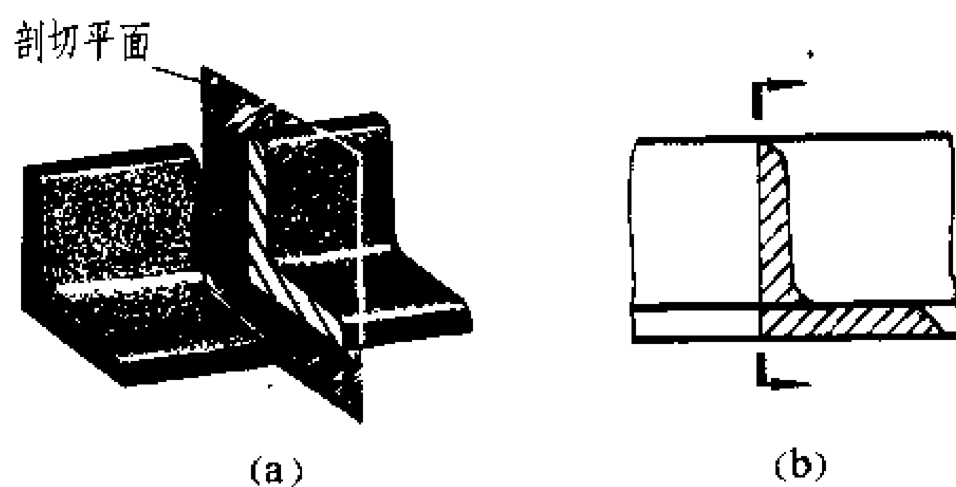


图 7-27　重合剖面画法之一

7.3.3　**剖切位置和剖面图的标注**

(1) 移出剖面一般应用剖切符号表示剖切位置，用箭头表示投射方向，并注上拉丁字母，在剖面图上方应当用同样的拉丁字母标出相应的名称，如图7-28中的“$A-A$”剖面和“$B-B$”剖面。

(2) 配置在剖切符号延长线上的不对称移出剖面，可省略字母，如图7-22b。配置在剖切符

号上的不对称重合剖面，也不必标注字母，如图 7-27b 所示。

不配置在剖切符号延长线上的对称移出剖面，其标注如图 7-23 中的“$A-A$”、图 7-25 中的“$A-A$”、图 7-26 中“$A-A$”，以及按投影关系配置的不对称移出剖面，如图 7-28 中“$B-B$”，均可省略箭头。

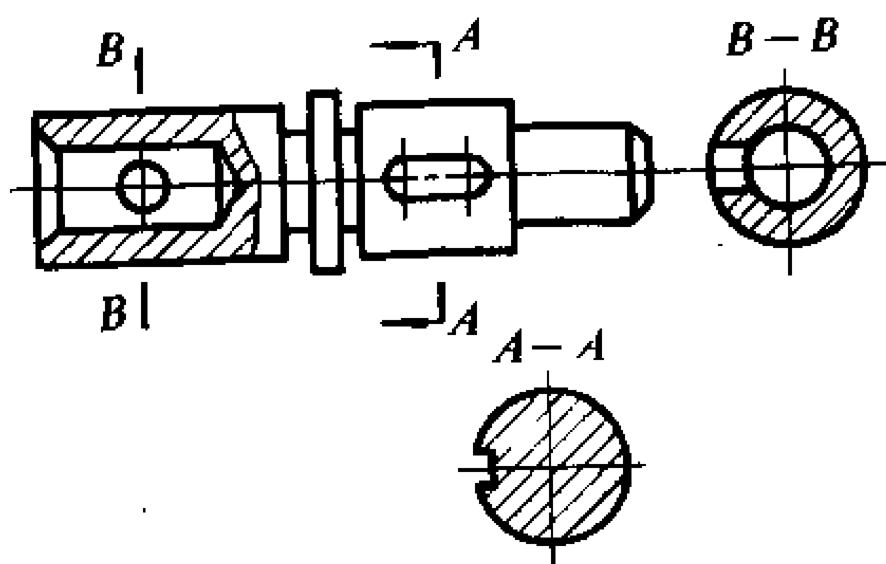


图 7-28　移出剖面的标注

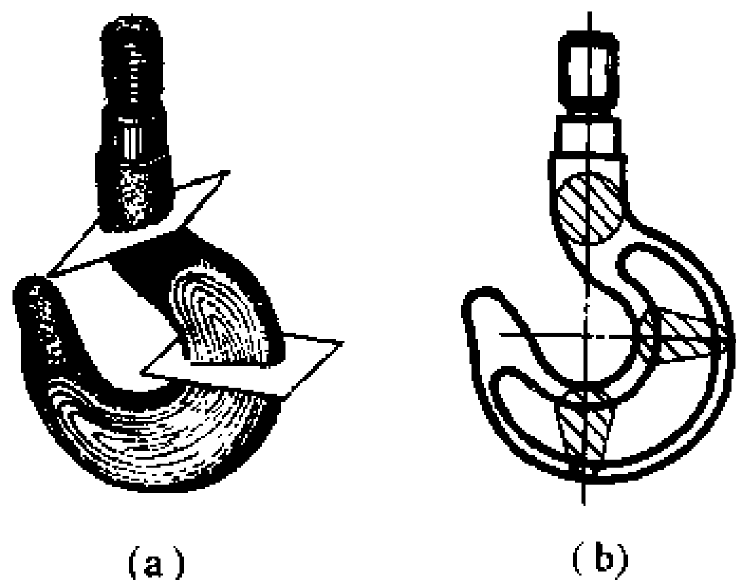


图 7-29　重合剖面画法之二

(3) 对称的重合剖面，其画法如图 7-29；配置在剖切符号延长线上的对称移出剖面，如图 7-22b。剖切符号均不必标注。

7.4　局部放大图

将图样中所表示的物体部分结构，用大于原图形的比例所绘出的图形称为局部放大图，如图 7-30。

画局部放大图时应注意：

(1) 局部放大图可画成视图、剖视、剖面，它与被放大部分的表达方式无关。局部放大图应尽量配置在被放大部位的附近。局部放大图上被放大部分的范围用波浪线表示。

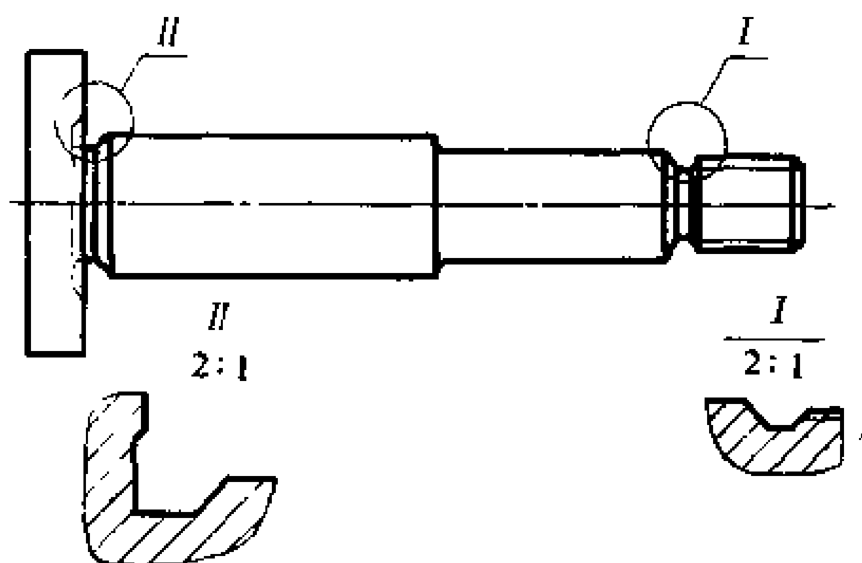


图 7-30　局部放大图(轴)

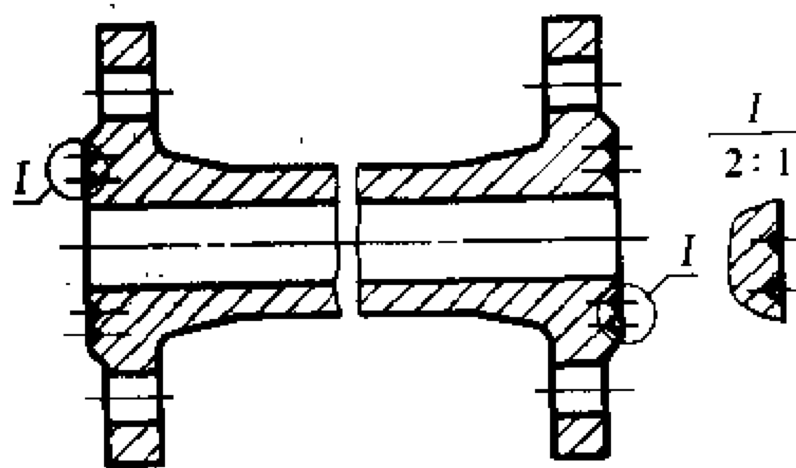


图 7-31　局部放大图(法兰盘)

(2) 在原视图上用细实线圈出被放大的部位。当同一机件上有多个被放大的部位时，必须用罗马数字依次标明被放大的部位，并在局部放大图的上方标注出相应的罗马数字和所采用的比例。

(3) 同一机件上不同部位的局部放大图，当图形相同或对称时，只需画出其中的一个，如

图 7-31。

7.5 简化画法

在能够准确表示机件形状和结构的条件下，为使画图简便，可以采用包括规定画法、省略画法、示意画法等在内的图示方法。

(1) 在不致引起误解时，零件图中的移出剖面允许省略剖面线，但剖切位置和剖面图的标注仍按规定标注，如图 7-32。

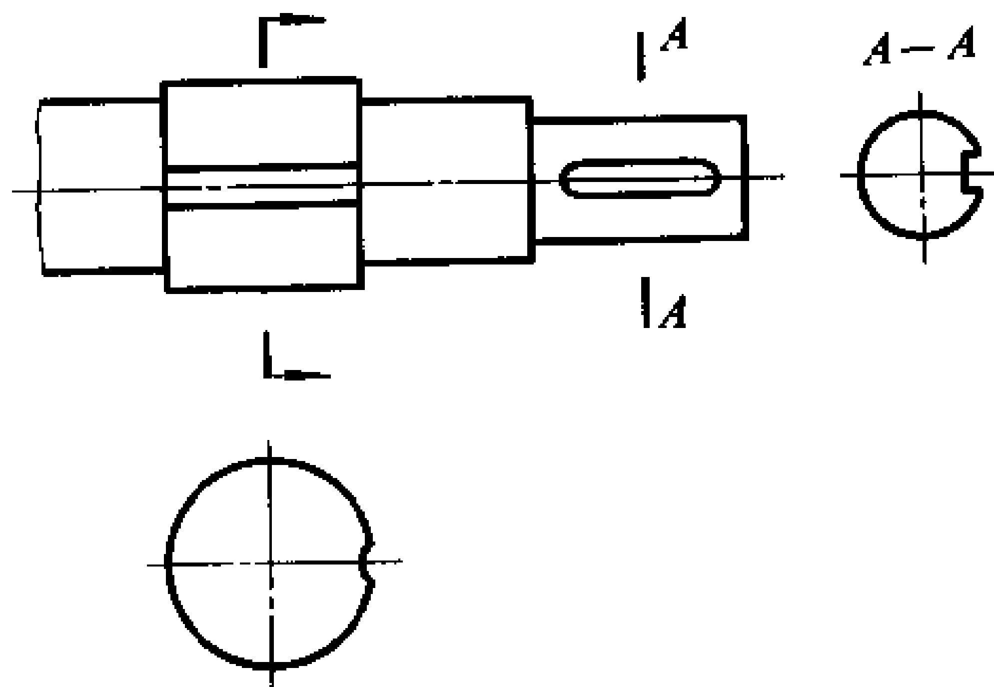


图 7-32 剖面图简化画法

(2) 当机件上具有较多相同结构（如齿、槽等），且这些结构按一定规律分布时，只需画出若干个完整的结构，其余用细实线连接，如图 7-33。在零件图中则必须注明这些相同结构的总数。

(3) 若干直径相同且成规律分布的孔（如圆孔、螺孔等），可以仅画出一个或几个，其余只需用点划线表示其中位置，如图 7-34。在零件图中则应注明孔的总数。

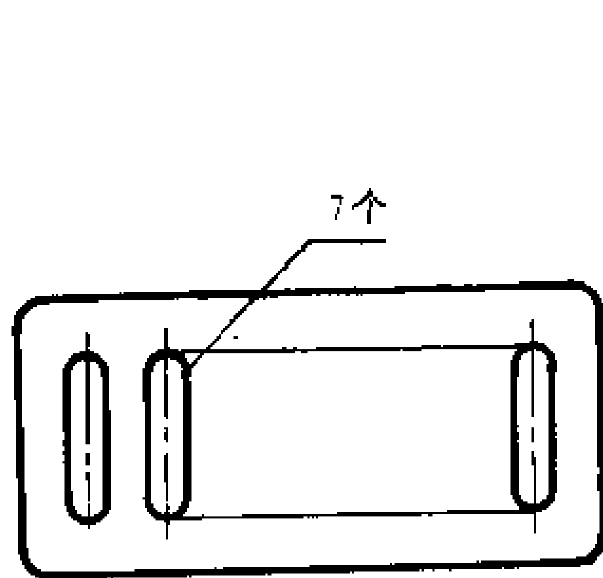


图 7-33 相同结构简化画法

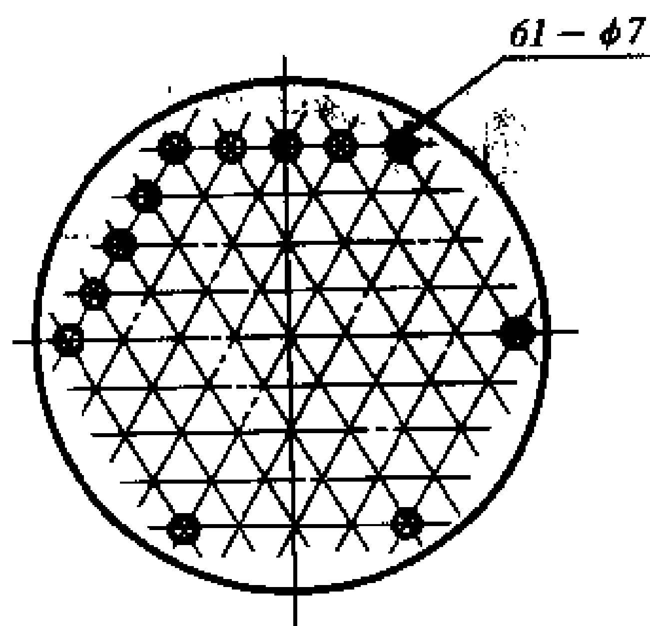


图 7-34 相同直径成规律分布孔的简化画法

(4) 网状物、编织物或机件上的滚花部分，可在轮廓线附近用细实线示意画出，并在零件图的视图部分或技术要求中注明这些结构的具体要求，如图 7-35 和图 7-36。

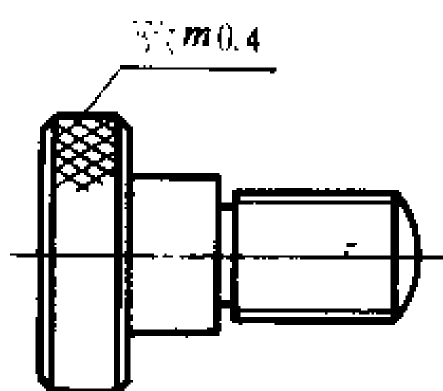


图 7-35　滚花简化画法

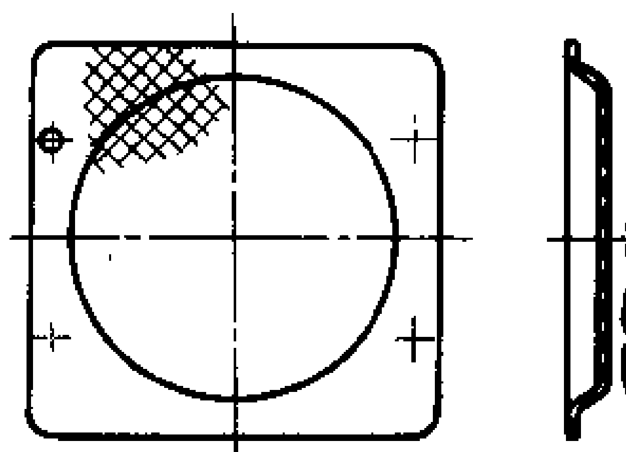


图 7-36　网状物简化画法

(5) 在零件回转体上均匀分布的肋、孔等结构不处于剖切平面上时，可将这些结构旋转到剖切平面上画出，如图 7-37 和图 7-38。

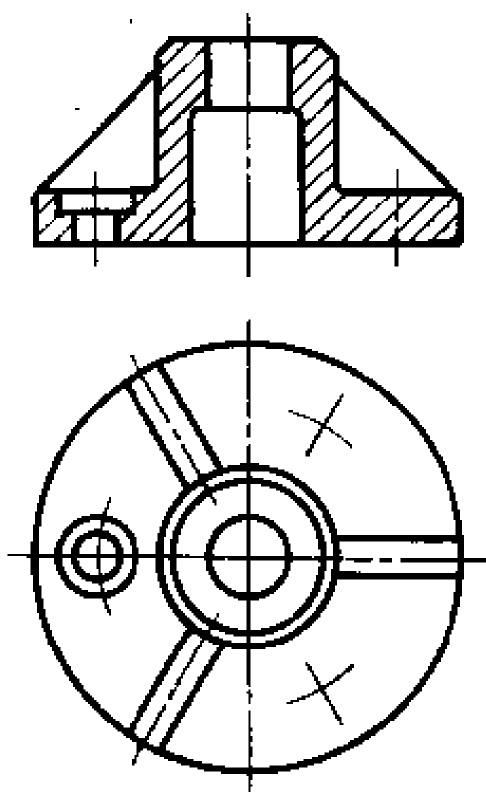


图 7-37　肋的简化画法

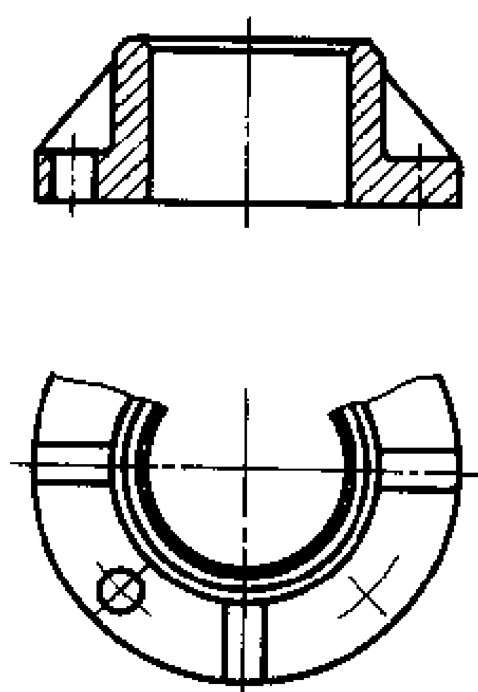


图 7-38　孔的简化画法

(6) 当图形不能充分表达平面时，标准规定可用平面符号 —— 相交的两细实线表示，如图 7-39。

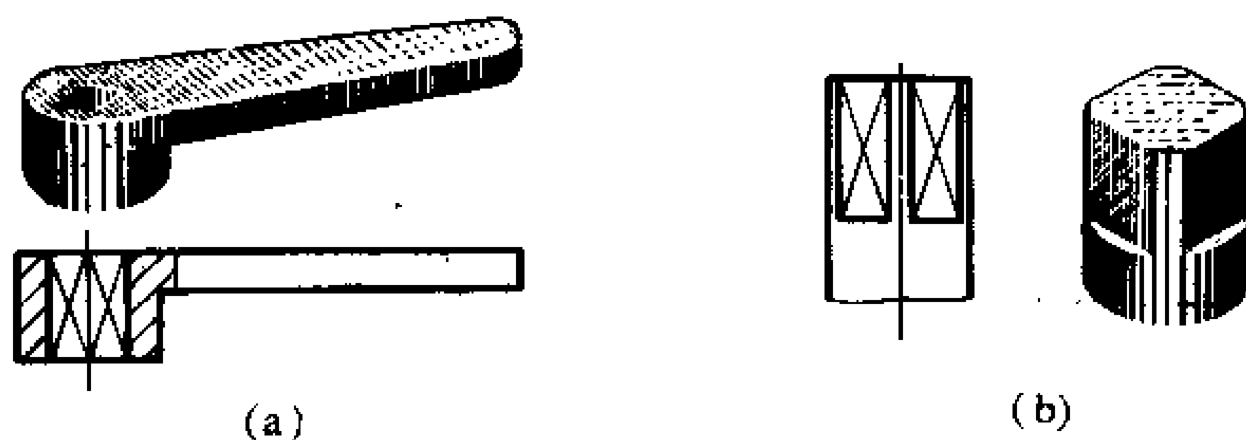


图 7-39　平面的简化画法

(7) 在不致引起误解时，过渡线、相贯线允许简化成用圆弧或直线来代替，如图 7-40 和图 7-41。

(8) 对称结构的局部视图，按图 7-40 所示方法绘制。圆柱形法兰上均匀分布的孔按图 7-41 所示方法表示(由外向法兰端面方向投影)。

(9) 在不致引起误解时，对于对称机件的视图可画一半或四分之一，并在对称中心线的两

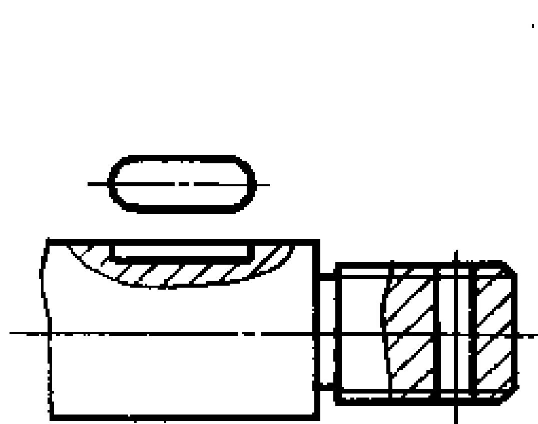


图 7-40　相贯线简化画法

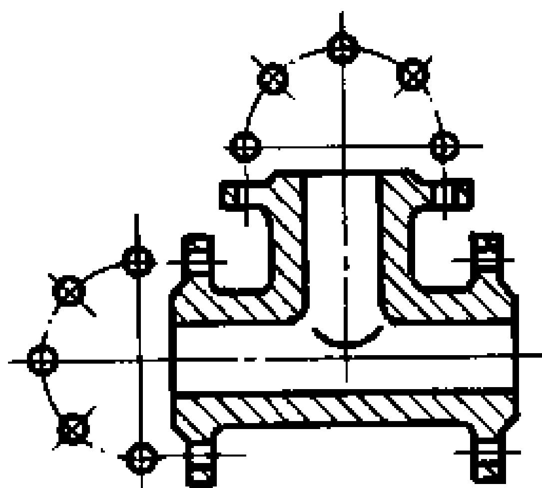


图 7-41　过渡线简化画法

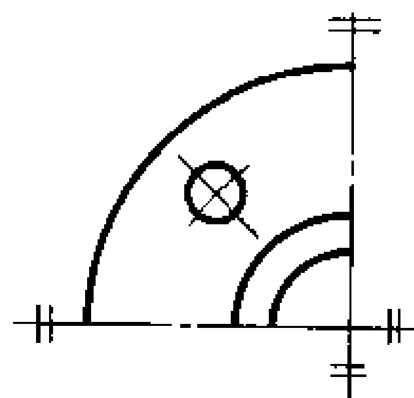


图 7-42　对称机件的视图简化画法

端画出两条与其垂直的平行细实线，如图 7-42。

（10）较长的机件（如轴、杆等），当其沿长度方向的形状一致或按一定规律变化时，可断开后缩短绘制，如图 7-43。

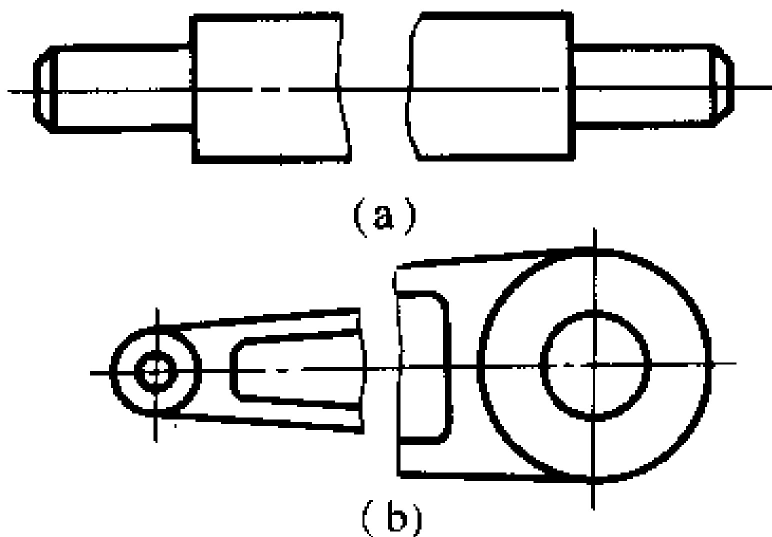


图 7-43　长度方向简化画法

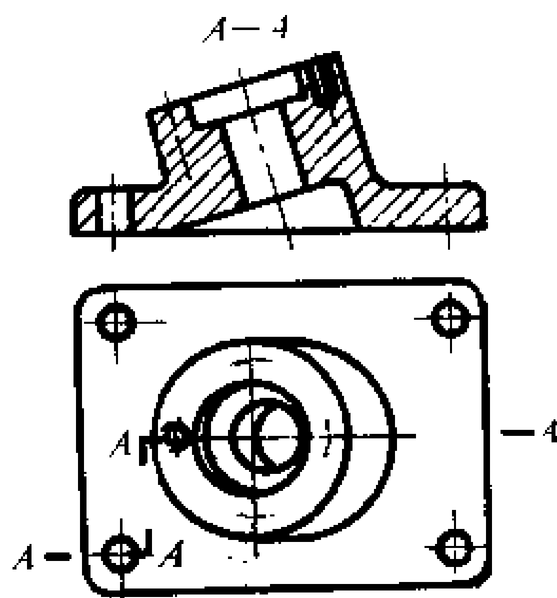


图 7-44　倾斜圆的简化画法

（11）与投影面倾斜角度小于或等于 30° 的圆或圆弧，其投影可用圆或圆弧代替，如图 7-44。

（12）在不致引起误解时，零件图中的小圆角、锐边的小倒圆或 45° 小倒角允许省略不画，但必须在视图中注明尺寸或在技术要求中加以说明，如图 7-45a、b、c。

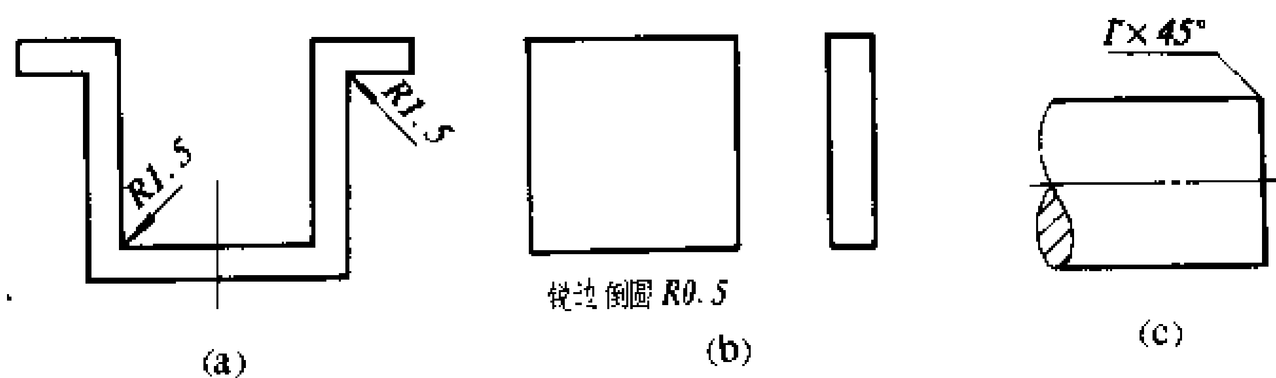


图 7-45　小圆角、小倒角简化画法

（13）机件上斜度不大的结构，如在一个视图中已表达清楚时，其他视图可按小端画出，如图 7-46。

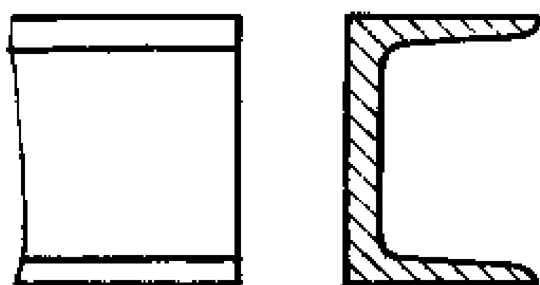


图 7-46　斜度的简化画法

7.6　表达方法应用举例

以上学习了机件在图样上的各种表达方法，有以基本视图为主的各种视图；以全剖、半剖、局部剖为主的各种剖视图和剖面图；以及其他画法等。在绘制图样时，应根据机件的具体形状和结构，以完整、清晰为目的，以看图方便、绘图简便为原则，正确地选用各种表达方法。现举例说明如下。

例 7-1　轴承支架(图 7-47)

轴承支架的主视图反映出支架在机器中的安装位置，并采用了局部剖视，以表示轴承孔和加油孔。左视图为局部视图表示轴承圆柱与十字形肋板的连接关系和相对位置，移出剖面表示了十字形肋板的断面实形。主视图上的倾斜底板采用局部剖视，表示其通孔；A 向斜视图，表示倾斜底板的实形以及其上孔和销孔的分布位置及数量。这样，轴承支架仅用了四个视图，达到视图清晰完整、作图简便的要求。

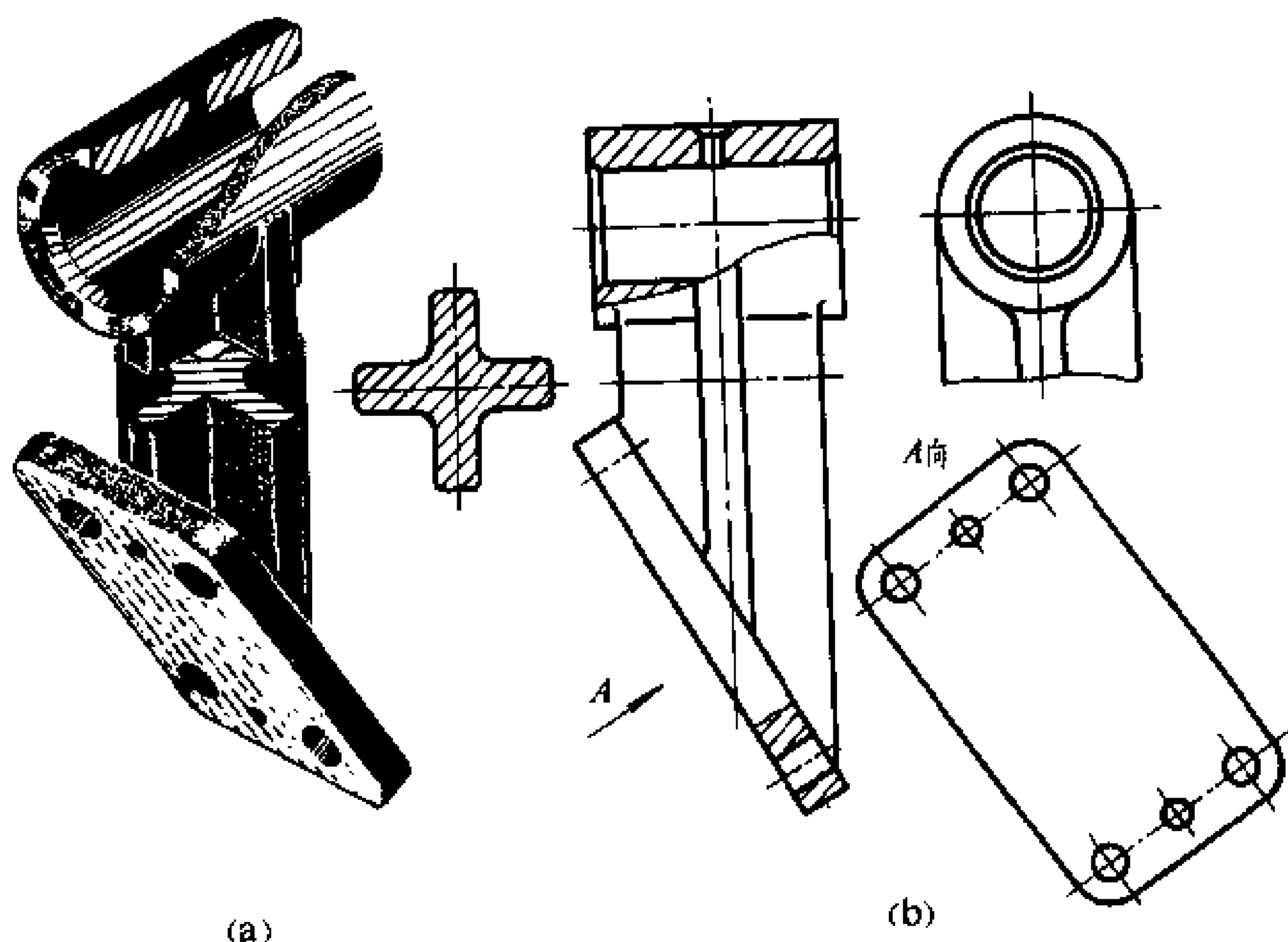


图 7-47　轴承支架的表达方案

例 7-2　插塞(图 7-48)

插塞主视图采用了全剖视，表示其内腔以及左侧和顶部各有两通孔。俯视图采用了“$C-C$”全剖视，表示插塞底部形状和四等分孔以及插塞外形。余下是左侧外形和顶部外形，分别采用“A 向”和“B 向”局部视图。这样，插塞仅用了两个基本视图和两个局部视图，就能完整表达形体结构，达到了看图方便的要求。

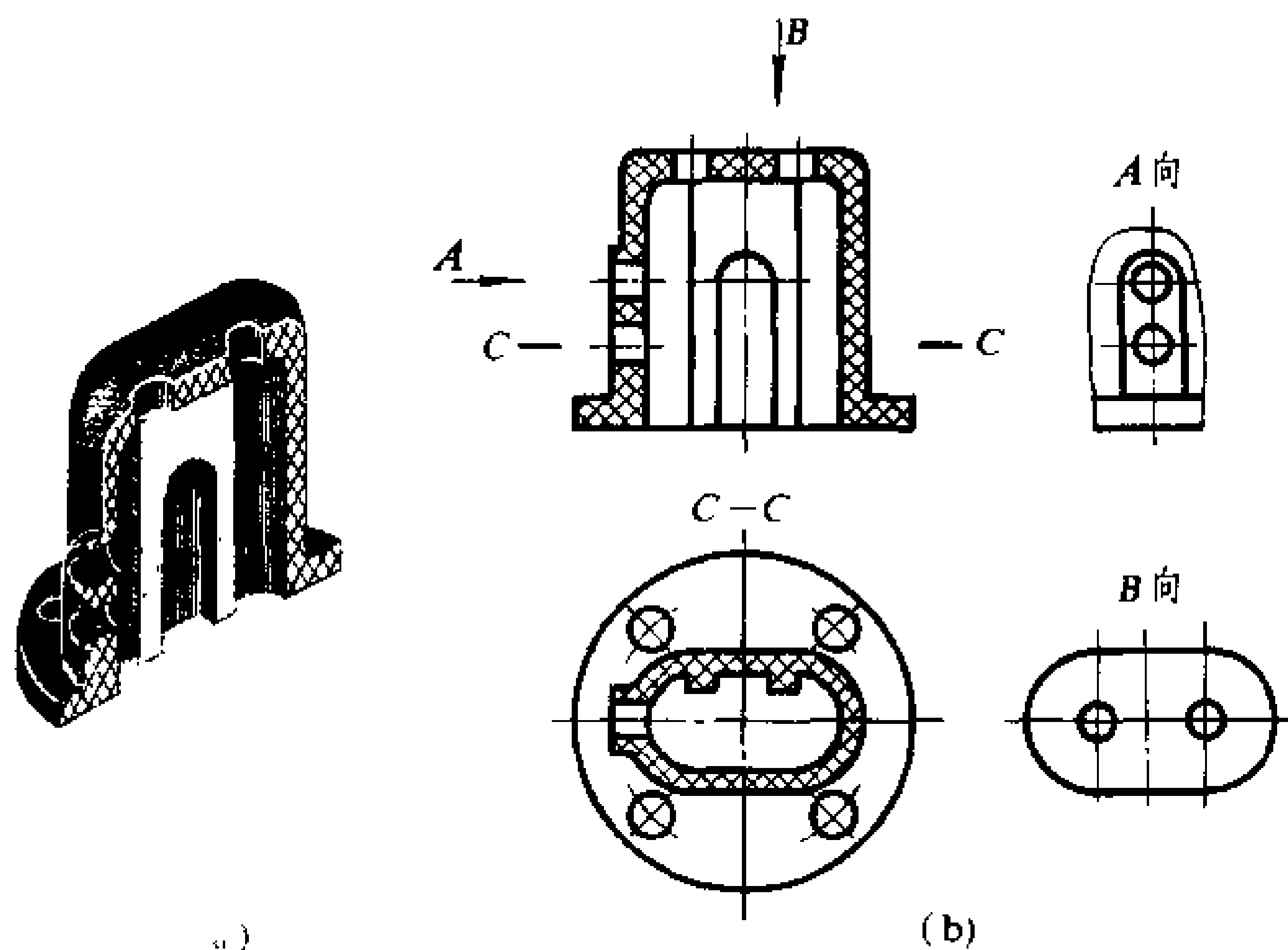


图 7-48 插塞的表达方案

通过以上两例可知，表达方案并非一种，只有将机件形体分析清楚后，才能明确所选择的每一个视图的表达目的，正确地标注视图关系，即可选定最佳表达方案。

7.7 第三角画法简介

V、H 两投影面把空间分成为四个区域，每一区域称为分角。如图 7-49a 所示，H 面的上半部

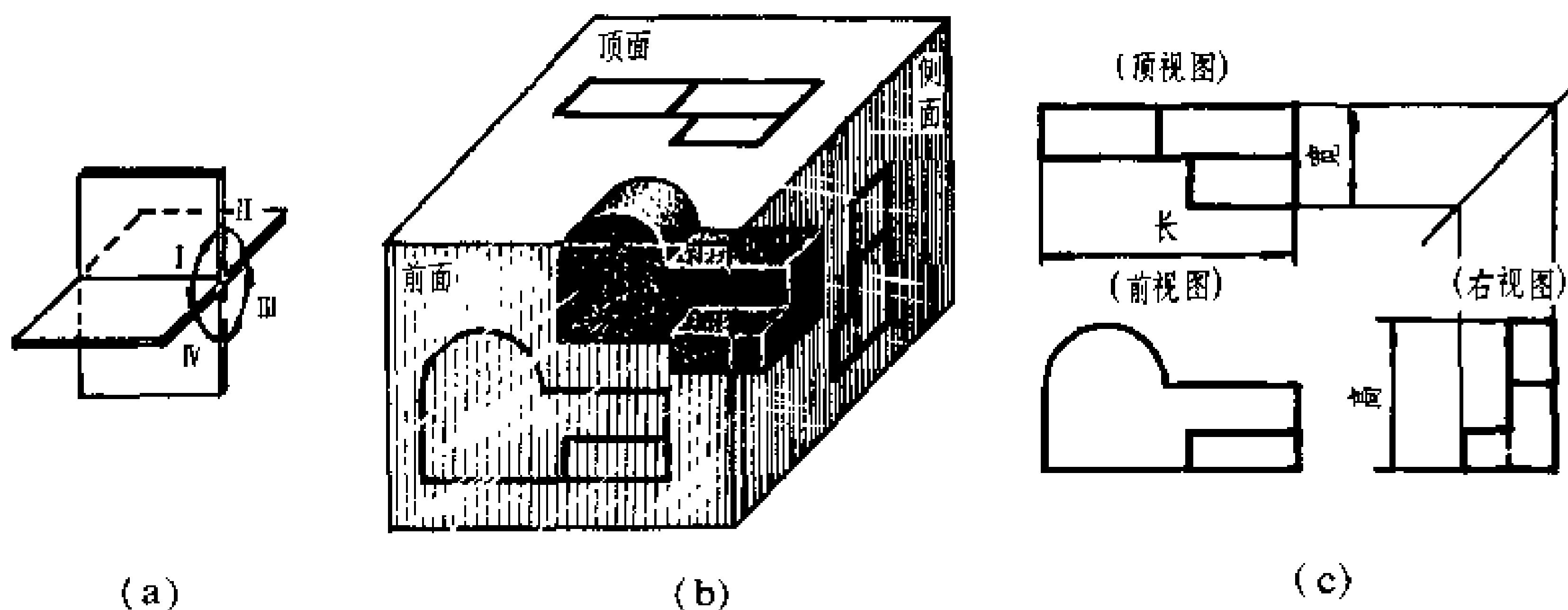


图 7-49 第三角投影法

分，V 面的前半部分为第一分角；H 面的下半部分，V 面的后半部分为第三分角；其余为二、四分角。根据国家标准《投影法》的规定，视图应采用第一角画法，因此前述各章均以第一分角来确定投影的问题。但是国际上也有采用第三角画法，故作简要介绍，它是将物体放在第三分角中

投影，如图 7-49b。第三角画法应注意以下几点：

(1) 投影面假定为透明，从前向后观看物体在前面上所得视图，称为前视图；从上向下观看物体在顶面上所得视图，称为顶视图；从右向左观看物体在侧面上所得视图，称为右视图。

(2) 投影面的展开方法，规定前面不动，顶面向上、侧面向右各旋转 90° 与前面重合。

(3) 各视图的位置：顶视图在前视图上方，右视图在前视图的右方。视图之间保持投影的对应关系，如图 7-49c 所示。

思考问题

7.1 试述六个基本视图的配置关系。

7.2 局部视图的使用条件和画法，试举例说明。

7.3 剖视图的剖切面共分为几种？各适用于何种场合？

7.4 试述全剖视、半剖视和局部剖视的画法。

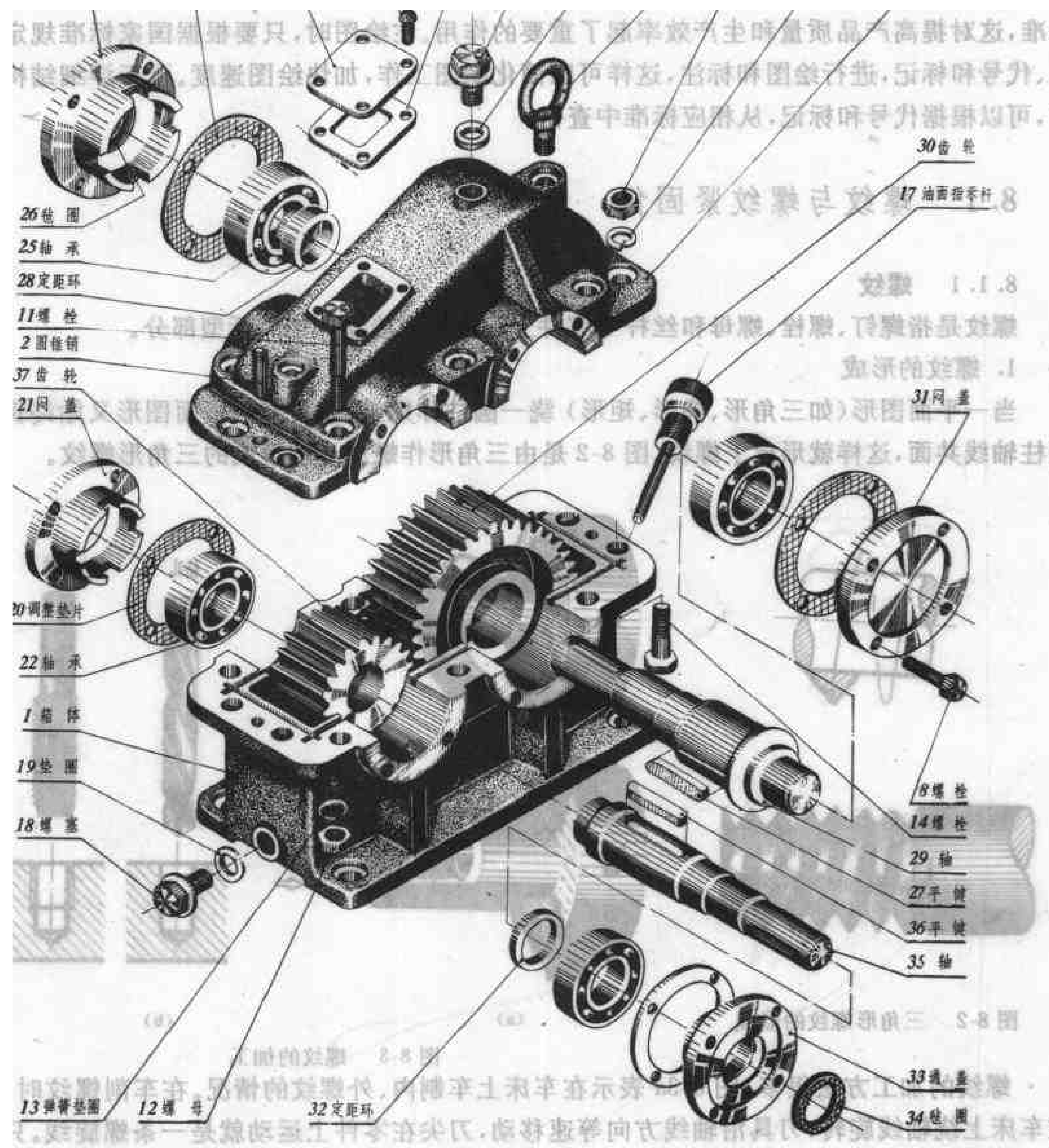
7.5 试述剖视图的标注方法。

7.6 试述剖面图的标注方法。

7.7 机件上肋板在剖视图上有什么规定画法？

7.8 试述主要几种简化画法。

第 8 章　常用件和标准件


30 齿 轮
17 油面指示杆
26 毡 圈
25 轴 承
28 定距环
11 螺 栓
2 圆锥销
37 齿 轮
21 闷 盖
31 闷 盖
20 调整垫片
22 轴 承
1 箱 体
19 垫 圈
18 螺 塞
8 螺 栓
14 螺 栓
29 轴
27 平 键
36 平 键
35 轴
33 透 盖
34 毡 圈
13 弹簧垫圈
12 螺 母
32 定距环

零件一般叫常用件。常用件种类很多，例如起连接作用的螺钉、螺栓、螺母、键、销；起传动、变速作用的齿轮、蜗轮蜗杆；起蓄能作用的各种弹簧；起支承转动轴作用的各种滚动轴承等等。

图 8-1 的齿轮减速器是常用来减速的部件。从图中可以看到，除了箱体、箱盖、轴等一般零件外，大部分是常用件，如螺栓、螺母、垫圈、键、销、齿轮、滚动轴承等。这些常用件，应用很广，需要量大。生产中为了简化设计，保证互换性和便于大量生产，对螺纹、轮齿和键槽及其他结构要素的形状、大小都已标准化，这些要素称为标准要素。对螺栓、螺钉、螺母和销、键等零件的形状和规格也已标准化，这些零件称为标准零件 —— 标准件。

标准化是现代化生产的特点之一，它体现一个国家的工业和技术水平。为了适应社会主义现代化建设的需要，促进工业生产和科学技术的发展，我国已制定了各种标准件和标准要素的标准，这对提高产品质量和生产效率起了重要的作用。在绘图时，只要根据国家标准规定的画法、代号和标记，进行绘图和标注，这样可以简化制图工作，加快绘图速度。至于详细结构和尺寸，可以根据代号和标记，从相应标准中查得。

8.1 螺纹与螺纹紧固件

8.1.1 螺纹

螺纹是指螺钉、螺栓、螺母和丝杆等零件上起连接或传动作用的牙型部分。

1. 螺纹的形成

当一平面图形（如三角形、梯形、矩形）绕一圆柱作螺旋运动，同时平面图形又始终保持与圆柱轴线共面，这样就形成了螺纹。图 8-2 是由三角形作螺旋运动形成的三角形螺纹。

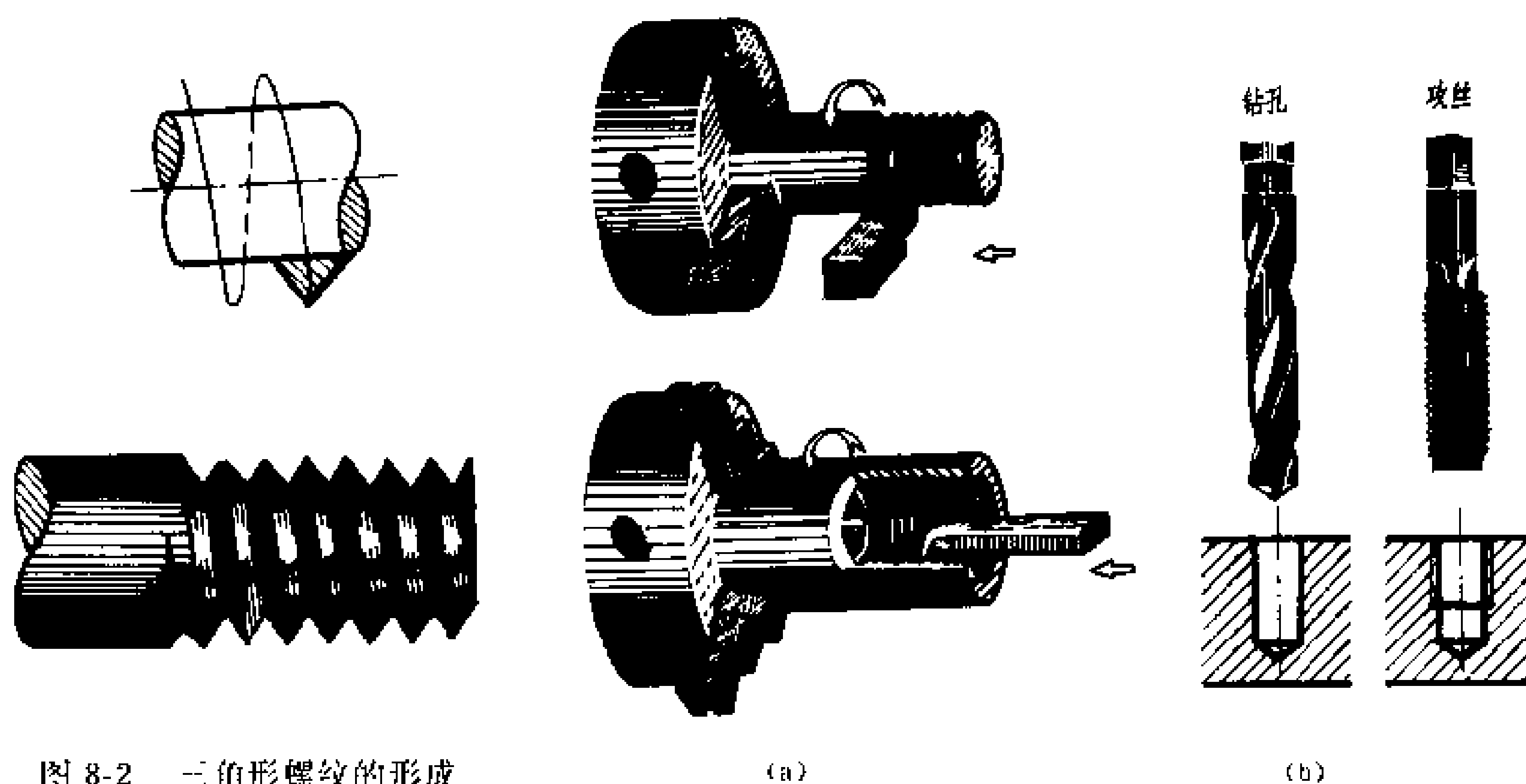


图 8-2 三角形螺纹的形成　　(a)　　(b)

图 8-3 螺纹的加工

螺纹的加工方法很多。图 8-3a 表示在车床上车制内、外螺纹的情况。在车削螺纹时，零件在车床上绕轴线旋转，刀具沿轴线方向等速移动，刀尖在零件上运动就是一条螺旋线。只要刀具切入零件一定深度就车削成螺纹。加工直径较小的螺孔，可先用钻头钻出光孔，再用丝锥攻丝得到螺纹，如图 8-3b。

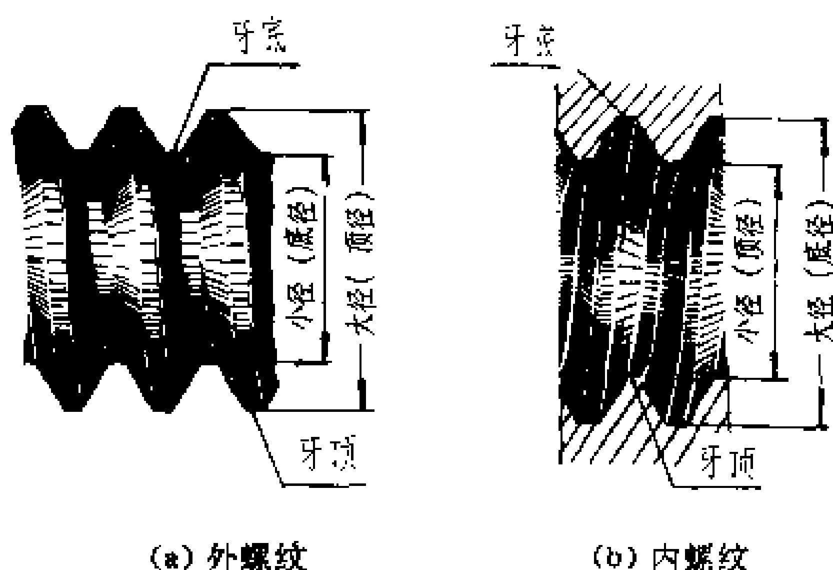
在圆柱外表面加工出来的螺纹为外螺纹，在圆孔内表面加工出来的螺纹为内螺纹。凡有螺纹的零件，都是内、外螺纹配合成对使用的。

2. 螺纹的基本要素

当内、外螺纹配合使用时，必须使它的牙型、直径、线数、螺距（或导程）和旋向完全相同。这几项通常称为螺纹的要素。

（1）牙　型

在通过螺纹轴线的剖面上，螺纹的轮廓形状（即上述的形成螺纹的平面图形）称为螺纹的牙型。常用的牙型有三角形、梯形、锯齿形和矩形等。不同牙型的螺纹有不同的用途。螺纹凸起部分的顶端称为牙顶，螺纹沟槽的底部称为牙底。



（a）外螺纹　（b）内螺纹

图 8-4　内外螺纹

（2）大径、小径和公称直径（图 8-4）

大径：与外螺纹牙顶或内螺纹牙底相重合的假想圆柱的直径。

小径：与外螺纹牙底或内螺纹牙顶相重合的假想圆柱的直径。

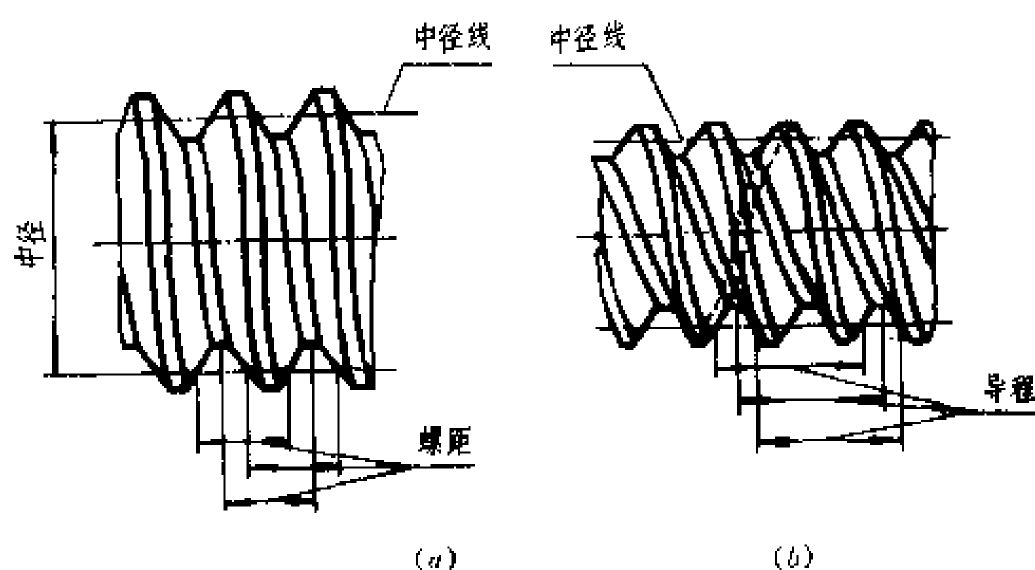
公称直径：代表螺纹尺寸的直径，一般是指螺纹大径的基本尺寸。

（3）线　数

螺纹的线数是指同一圆柱面上切削螺纹的条数。分单线（一条）螺纹和多线（两条或两条以上）螺纹。如图 8-5a 为单线螺纹，图 8-5b 为双线螺纹。最常用的是单线螺纹。

（4）螺距和导程

相邻牙在中径线上对应两点间的轴向距离称为螺距，如图 8-5a；同一线螺纹上相邻牙在中径线上对应两点的轴向距离称导程，如图 8-5b。



（a）　（b）

图 8-5　螺纹的线数、螺距和导程

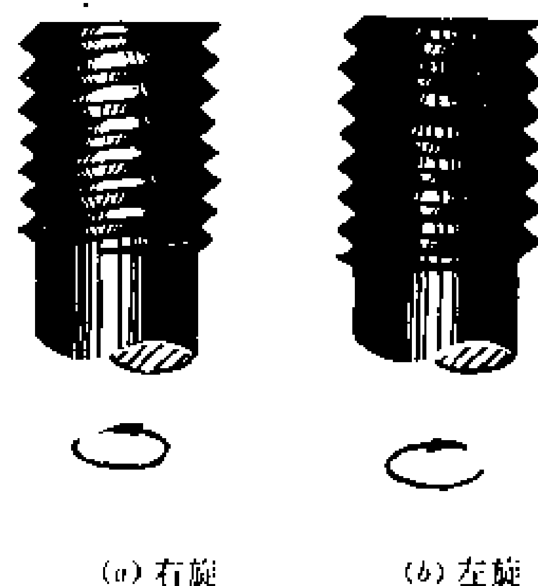

（a）右旋　（b）左旋

图 8-6　螺纹旋向

（5）旋　向

螺纹按旋进时的旋转方向，分为左旋螺纹和右旋螺纹，如图 8-6 所示。常用的是右旋螺纹。

3. 螺纹的种类

根据用途，螺纹可分为连接螺纹和传动螺纹两类。按牙型来分，有三角形螺纹、梯形螺纹和锯齿形螺纹等。按螺纹牙型、大径、螺距是否符合标准规定，又可分标准螺纹（牙型、大径、螺距均符合标准）、特殊螺纹（牙型符合标准、大径或螺距不符合标准）和非标准螺纹（牙型不符合标准）。

表 8-1 为几种常见的标准螺纹的种类。

表 8-1　常用标准螺纹的种类

螺纹种类		螺纹牙型	说　　明
连接螺纹	普通螺纹		牙型是等边三角形，牙型角是 60°。普通螺纹分为粗牙和细牙两种，其区别在于：大径相同的条件下，细牙螺纹的螺距比粗牙螺纹的螺距小。粗牙螺纹用于一般的零件连接，细牙螺纹用于细小、精密的零件和薄壁零件、密封装置等连接。
	管螺纹		牙型是等腰三角形，牙型角为 55°。常用于水管、油管、煤气管等薄壁零件，是一种螺纹深度较浅的特殊细牙螺纹。
传动螺纹	梯形螺纹		牙型为梯形，牙型角为 30°。梯形螺纹用于承受双向轴向力的一般传动零件，如螺杆等。
	锯齿形螺纹		牙型为锯齿形，牙型角为 33°(3°,30°)。用于承受单向轴向力的传动，如螺旋压床、辊压机的螺杆等。

4. 螺纹的规定画法

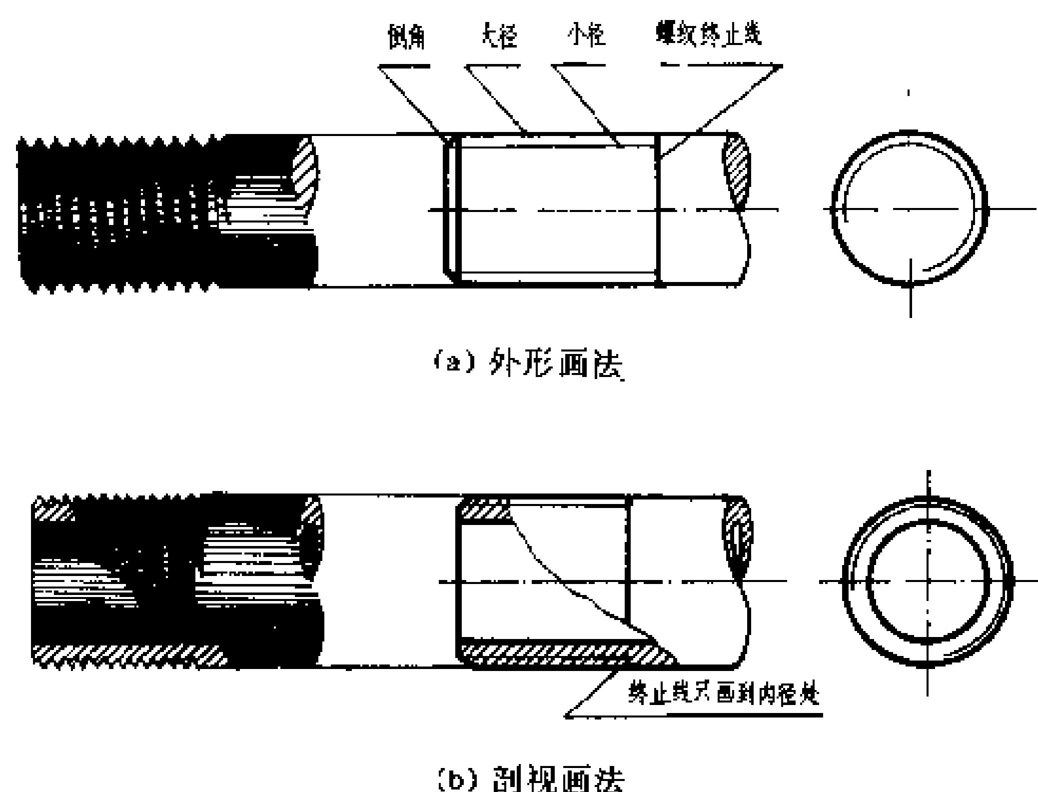
(1) 外螺纹的画法(图 8-7)

螺纹大径用粗实线表示，小径用细实线表示。小径通常画成大径的 0.85，即 $d_1 = 0.85d$（d 为大径），螺纹终止线用粗实线表示。当外螺纹被剖切后，其螺纹终止线按图 8-7b 所示画出。

螺纹端部如有倒角，不管用外形画法还是剖视画法，表示小径的细实线在螺纹的倒角或倒圆部分都应画出。

在垂直于螺纹轴线的投影面的视图中，螺纹小径画成约 3/4 圈的细实线圆。此时，螺纹端部的倒角省略不画。

(2) 内螺纹的画法



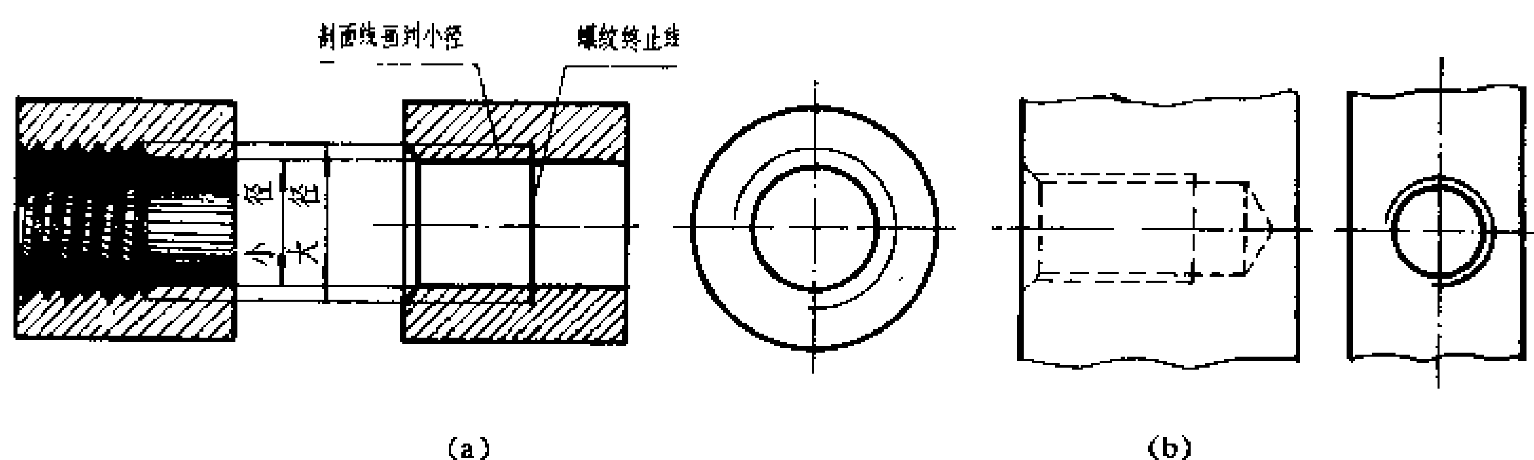
(a) 外形画法

(b) 剖视画法

图 8-7 外螺纹的规定画法

内螺纹一般用剖视来表示。在剖视图和投影为圆的视图中，螺纹的小径用粗实线表示，大径用细实线表示，小径 $D_1 = 0.85D$(大径)。螺纹的画法和倒角圆的处理与外螺纹相同，如图 8-8a。

如螺孔不加剖切，在平行螺孔轴线的视图上，螺孔的小径、大径均用虚线画法，如图 8-8b 的主视图。



(a) (b)

图 8-8 内螺纹的规定画法

螺孔相贯时的画法如图 8-9 所示。

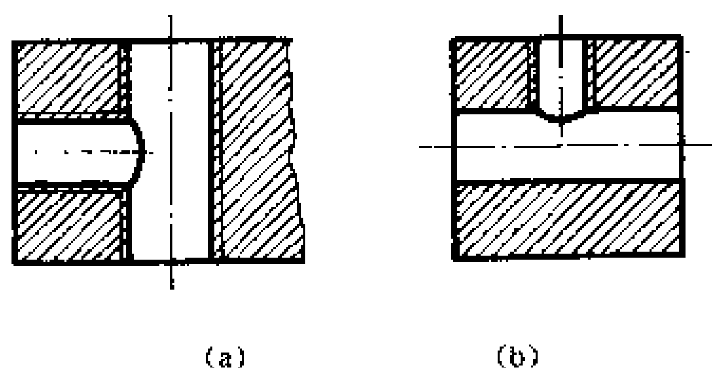
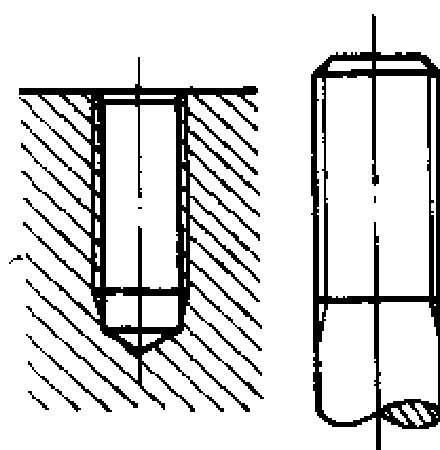

(a) (b)

图 8-9 螺纹相贯时的画法

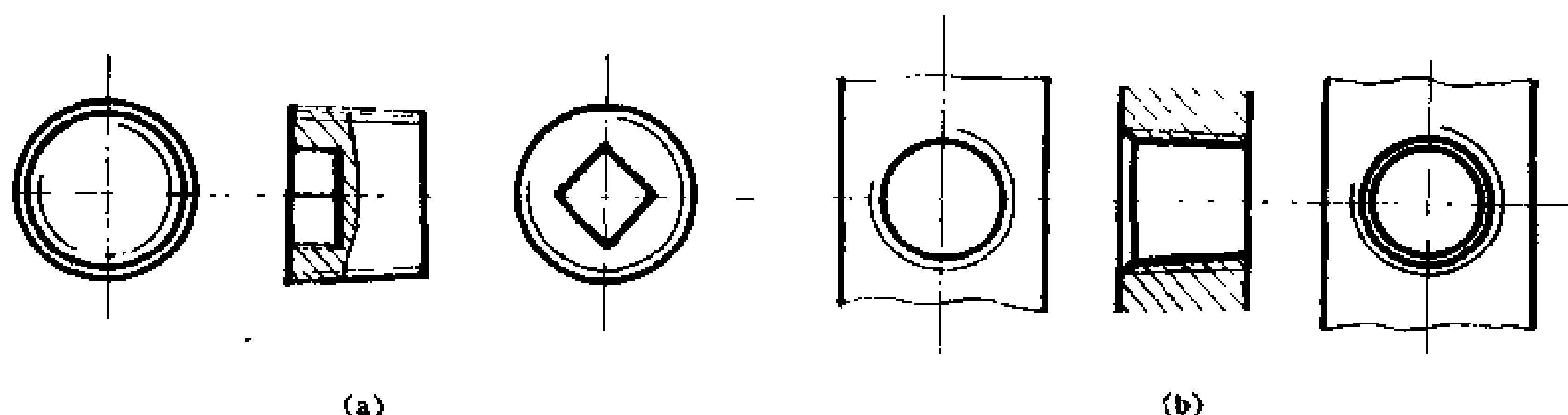

图 8-10 螺尾的画法

无论是外螺纹还是内螺纹，剖视或剖面图中的剖面线都应画到表示大径或小径的粗实线为止。

如需表示螺纹收尾时，螺尾部分的牙底用与轴线成 30° 的细实线绘制，如图 8-10。

(3) 锥螺纹、锥管螺纹的画法

在绘制英寸制的锥螺纹和锥管螺纹时，表示不可见端面小径或大径的细实线圆均省略不画，如图 8-11。



(a)　　　　(b)

图 8-11　锥螺纹或锥管螺纹规定画法

(4) 内、外螺纹的连接画法(图 8-12)

在剖视图中，内、外螺纹的连接部分按外螺纹的表示方法画出，其余部分仍按各自的规定画法表示。画图时注意：表示小径和大径的粗实线、细实线应分别对齐。

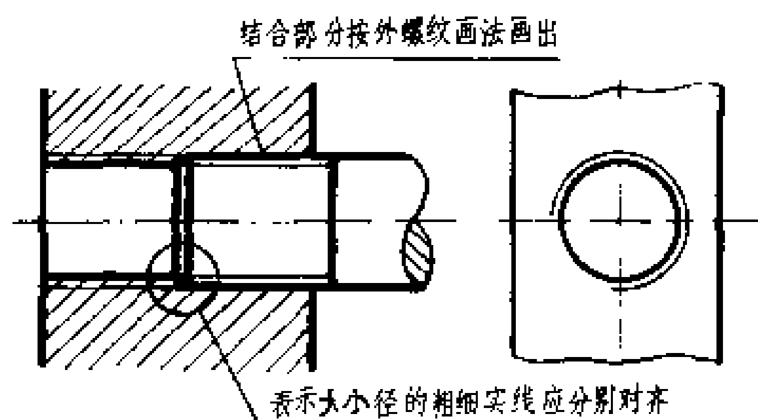


图 8-12　内、外螺纹的连接画法

5. 螺纹的代号及标记

采用规定画法后，螺纹的种类、牙型、螺距、旋向和线数都无法在图中表示出来，需通过标注螺纹代号或标记来解决。

普通螺纹的螺纹代号是：

$$\boxed{\text{牙型符号}}\boxed{\text{公称直径}} \times \frac{\boxed{\text{螺距(单线螺纹)}}\text{ 或 }}{\boxed{\text{导程 / 线数(多线螺纹)}}}\boxed{\text{旋　　向}}$$

按上述格式注写代号时，应注意：

(1) 单线螺纹和右旋螺纹的使用非常广泛，在标注时不必注明线数和旋向。如为左旋，应注明代号 LH。

(2) 粗牙普通螺纹用得较多，且与大径相对应的螺距只有一种，所以在标注时不必注出螺距。细牙普通螺纹与大径相对应的螺距有好几种，因面标注时必须注明螺距。例如：

$M24$ 表示大径为 24mm 的粗牙普通螺纹，单线，右旋；

$M24 \times 2$ 表示大径为 24mm、螺距为 2mm 的细牙普通螺纹，单线，右旋。

普通螺纹的完整标记由螺纹代号、螺纹公差带代号和螺纹旋合长度代号组成。其中公差带代号(可参阅有关标准)包括中径公差带代号和顶径公差带代号。公差带代号是由表示螺纹公差带等级的阿拉伯数字和表示其位置的拉丁字母所组成，例如 $6H$、$6g$ 等。螺纹公差带代号标注在螺纹代号之后，中间用“－”分开。当螺纹的中径公差带和顶径公差带代号不同时要分别注出，例如：$M10-5g6g$，前者为中径公差带，后者为顶径公差带。如果中径与顶径公差带代号相同，只要注一个代号，例如：$M10\times1-6H$。

当内、外螺纹装配在一起时，其公差带代号可用斜线分开，左边表示内螺纹公差带代号，右边表示外螺纹公差带代号。例如：

$M20\times2-6H/6g$　$M20\times2LH-6H/5g6g$

在一般情况下，不标注螺纹旋合长度，此时螺纹公差带按中等旋合长度考虑。

梯形螺纹的螺纹代号是：

螺纹种类代号 公称直径 × 导程(螺距) 旋　向

注写梯形螺纹代号时，应注意：

(1) 符合 GB5796.1 — 86 标准的梯形螺纹用“*Tr*”表示。

(2) 单线螺纹的尺寸规格用“公称直径 × 螺距”表示；多线螺纹用“公称直径 × 导程(*P* 螺距)”表示。

(3) 当螺纹为左旋时，需在尺寸规格之后注“*LH*”，右旋不注出。

例如：

单线螺纹：*Tr*40 × 7 表示公称直径为 40mm，螺距为 7mm 的标准梯形螺纹，单线，右旋。

多线螺纹：*Tr*40 × 14(*P*7)*LH* 表示公称直径为 40mm，导程为 14mm，螺距为 7mm 的左旋双线标准梯形螺纹。

标准梯形螺纹的标记是由梯形螺纹代号、公差带代号及旋合长度代号组成。

标注螺纹标记时，应注意：

(1) 梯形螺纹的公差带代号只标注中径公差带(由表示公差等级的数字及公差位置的字母组成)，例如 7*H*，7*e* 等。螺纹公差带代号标注在螺纹代号之后，中间用“—”分开。

(2) 当旋合长度为中等旋合长度时，不标注旋合长度代号。

螺纹标记示例：内螺纹：*Tr*40 × 7 — 7*H*

　　　　　　　外螺纹：*Tr*40 × 7 — 7*e*

常用管螺纹分用螺纹密封的管螺纹与非螺纹密封的管螺纹。

用螺纹密封的管螺纹标记是：

螺纹特征代号 尺寸代号 — 旋　向

螺纹特征代号：

字母 R_c 表示圆锥内螺纹；

字母 R_p 表示圆柱内螺纹；

字母 R 表示圆锥外螺纹。

螺纹尺寸代号是带有外螺纹管子的孔径，单位为英寸，尺寸代号在特征代号后，如 $R_c\frac{1}{2}$ 表示公称直径为$\frac{1}{2}$英寸的圆锥内螺纹。

当螺纹为左旋时，在尺寸代号后加注“*LH*”。例如：

$$R_c\frac{1}{2} - LH$$

内、外螺纹装配在一起时，内、外螺纹的标记用斜线分开，左边表示内螺纹，右边表示外螺纹。其标记如下：

圆锥内螺纹与圆锥外螺纹的配合　$R_c\frac{1}{2}/R\frac{1}{2}$；

圆柱内螺纹与圆锥外螺纹的配合　$R_p\frac{1}{2}/R\frac{1}{2}$。

非螺纹密封的管螺纹标记是：

螺纹特征代号 尺寸代号 公差等级代号 — 旋　向

螺纹特征代号用字母 *G* 表示。

螺纹的尺寸代号是带有外螺纹管子的孔径，单位为英寸，根据公称直径可以查出该螺纹相应的大径、小径和螺距等。

如“*G*1”表示公称直径为 1 英寸(带有外螺纹管子的孔径为 1 英寸)的圆柱管螺纹，经查表可得，螺距为 2.309mm，大径为 33.250mm，小径为 30.293mm。如图 8-13 所示。

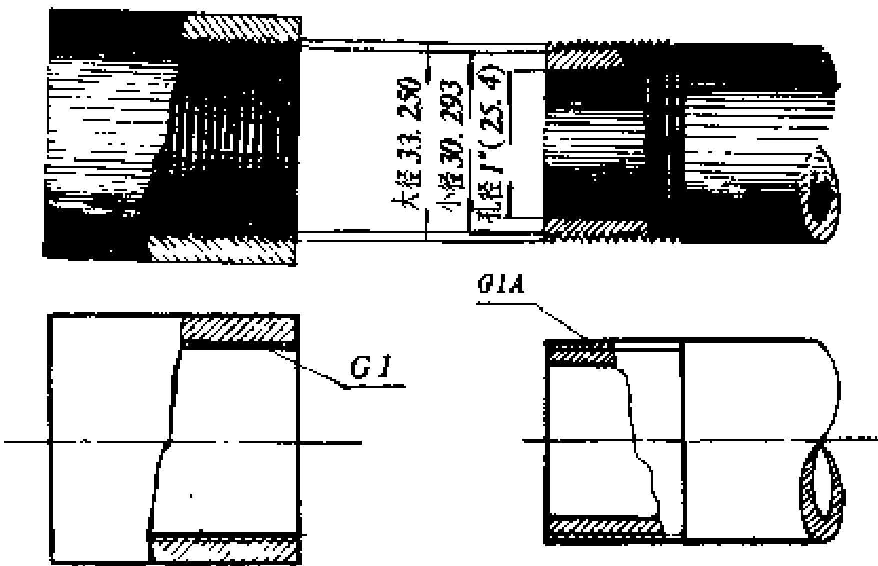


图 8-13　非螺纹密封的管螺纹代号及含义

螺纹公差等级代号：对外螺纹分 *A*，*B* 两级标记；对内螺纹则不标记。

当螺纹为左旋时，在公差等级代号后加注“*LH*”。例如：*G*1*A* — *LH*

内、外螺纹装配在一起时，内、外螺纹的标记用斜线分开，左边表示内螺纹，右边表示外螺纹。例如：

右旋螺纹　*G*1/*G*1*A*；

左旋螺纹　*G*1/*G*1*A* — *LH*

本书附录摘录了普通螺纹、梯形螺纹、非螺纹密封的管螺纹的部分标准，供查阅。

表 8-2 为常用标准螺纹标注示例。

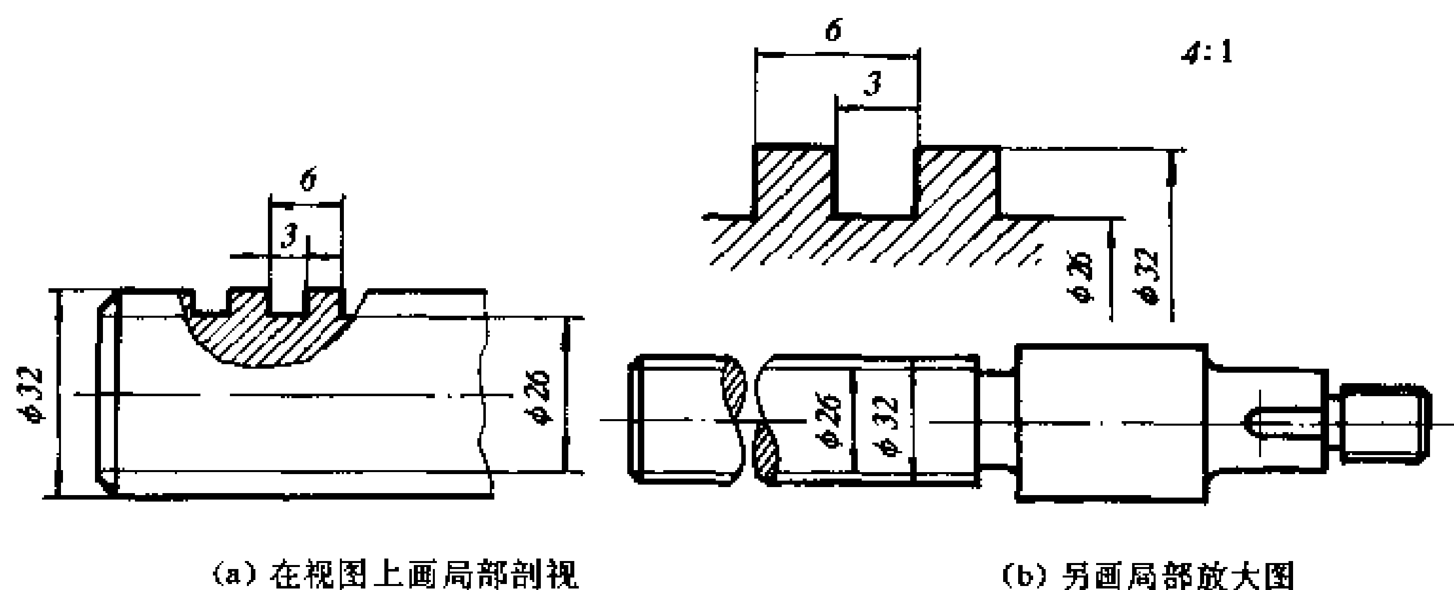
表 8-2　常用标准螺纹标注示例

螺纹种类	牙型符号	公称直径	螺距	导程	线数	旋向	标记、代号	标注示例
粗牙普通螺纹	*M*	24	3		1	右	*M*24 — 6*g* 螺距、旋向省略不注	M24-6g
细牙普通螺纹	*M*	24	2		1	右	*M*24 × 2 — 6*h* 旋向省略不注	M24×2-6h
梯形螺纹	*Tr*	20	4	8	2	左	*Tr*20 × 8(*P*4)*LH* — 7*e*	Tr20×8(P4)LH-7e

续　表

锯齿形螺　纹	B	40	7	14	2	右	$B40\times14(P7)$ 旋向省略不注	$B40\times14(P7)$
非螺纹密封的管螺纹	G	1				右	$G1A$	$G1A$
用螺纹密封的管螺纹	R_c	1/2				右	$R_c\,\frac{1}{2}$	$R_c\,\frac{1}{2}$

非标准螺纹不能采用以上的代号和标注方法，须画出牙型并注出全部尺寸(图 8-14)。



(a) 在视图上画局部剖视　　(b) 另画局部放大图

图 8-14　方牙螺纹(非标准螺纹)的画法及标注

标注牙型符合标准、大径或螺距不符合标准的特殊螺纹时，应在牙型符号前加注“特”字(图 8-15)。

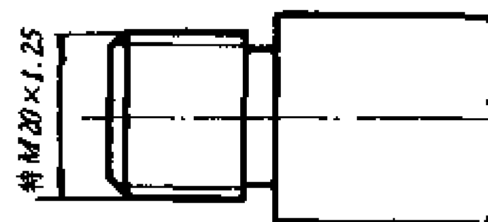


图 8-15　特殊螺纹的标注

8.1.2　螺纹紧固件

常用的螺纹紧固件有螺栓、螺柱、螺钉、螺母和垫圈等，它们种类很多，在结构形状和尺寸方面都已标准化，根据规定标记就可在国家标准中查到有关的形状与尺寸，这些螺纹紧固件一般由专业厂生产，使用时按型式和标准选用，无需画图和单独加工制造。

下面分别介绍螺栓连接、双头螺柱连接和螺钉连接的用途、画法及其标记。

1. 螺栓连接

螺栓连接是由螺栓、螺母和垫圈组成，用于两个不太厚的零件的连接，如图 8-16。

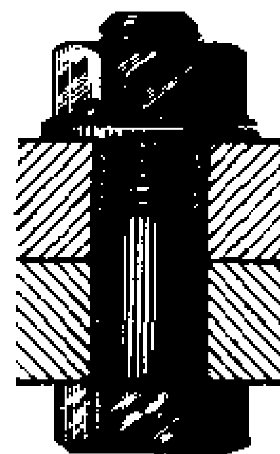


图 8-16　螺栓连接

螺栓、螺母、垫圈种类很多，例如可根据其结构要素的形状、大小分类，也可按产品等级分类。产品等级由产品质量和公差大小确定。一般分为 A、B 和 C 级，其中 A 级最精确、C 级不精确。

螺栓种类很多，按螺栓头部形状，可分为六角头螺栓、方头螺栓等；按

产品等级可分为 A,B 级和 C 级。

螺母种类也很多，按形状分有六角螺母、方头螺母、六角开槽螺母等；按螺母高度分有 1 型、2 型等，1 型螺母公称高度为 0.84～0.94D，2 型螺母公称高度为 0.94～1.02D，公称高度小于0.8D 为薄螺母；按产品等级分有 A,B 级和 C 级。

垫圈种类有平垫圈、小垫圈、弹簧垫圈等；按产品等级分为 A 级和 C 级，A 级适用精装配系列，C 级用于中等装配系列，不同装配系列表示在公称尺寸 d 相同下 d_1 尺寸不同。平垫圈按型式分倒角型和无倒角型。

常用的螺栓、螺母和垫圈的种类及标记见表 8-3。

表 8-3　常用螺栓、螺母和垫圈的种类及其标记

名称	图　例	标记说明
螺栓	(a)六角头螺栓 C 级 GB5780—86 (b) 六角头螺栓 A 和 B 级 GB5782－86	螺栓 GB5780－86 $M10\times100$ 表示螺纹规格　$d=M10$, 公称长度　$l=100$mm，C 级的六角头螺栓。
螺母	(a)1 型六角螺母 A 和 B 级 GB6170－86 (b)1 型六角开槽螺母 A 和 B 级 GB6178－86	螺母 GB6178—86　M10 表示螺纹规格　$D=M10$ A 级的 I 型开槽螺母

续　表

垫圈	(a) 平垫圈,*A* 级　(b) 平垫圈倒角型 *A* 级 GB97.1-85　GB97.2-85	垫圈GB97.1 — 85 10 — 140HV 表示公称尺寸 $d = 10\text{mm}$, 性能等级为　140HV 级的平垫圈。

注:有关详细尺寸以及其他种类的螺栓、螺母和垫圈,请查阅手册或有关标准。

螺栓、螺母、垫圈及其连接画法:可采用准确画法(不常采用),即从有关标准中查得各部分尺寸画出;也可采用近似画法,以螺栓直径 d 为依据,其他各部分尺寸都与 d 成一定比例,由此算出相应尺寸画出。图 8-17 表示螺栓、螺母和垫圈的近似画法中各部分尺寸与螺栓直径 d 的关系。

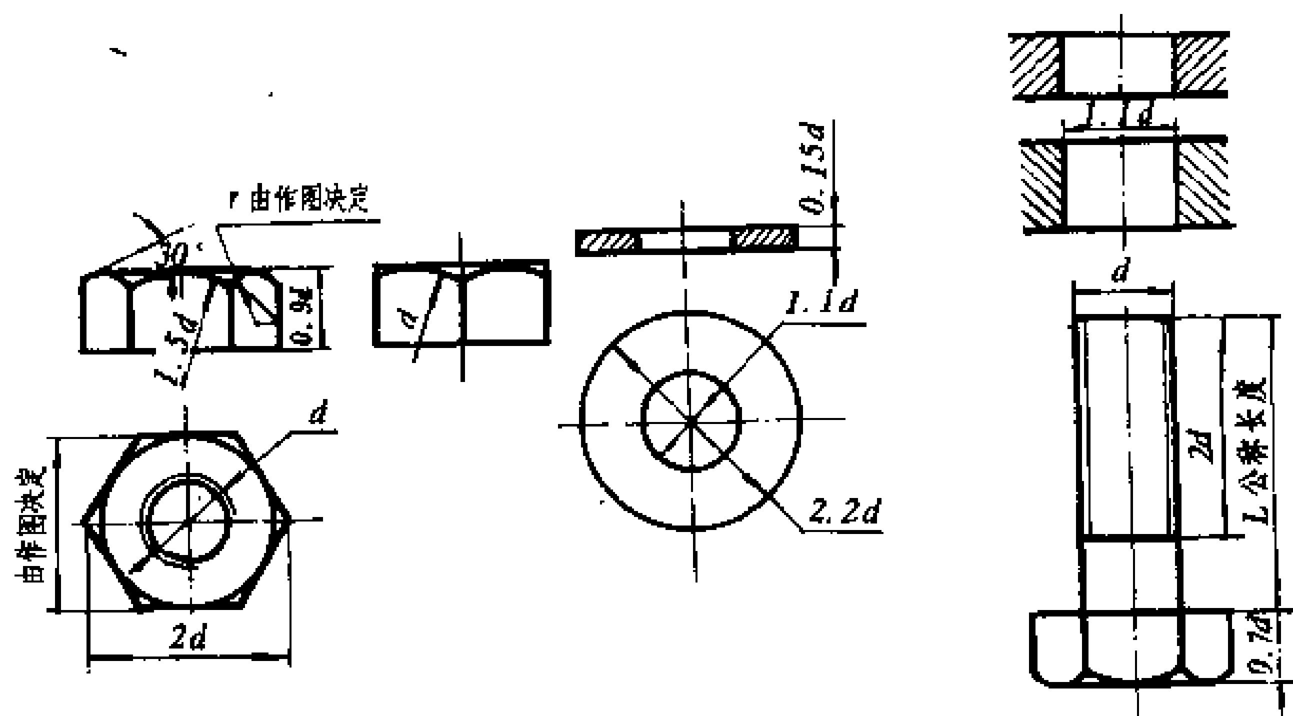


图 8-17　螺栓、螺母和垫圈的近似画法

图 8-18 表示螺栓连接画法,其中图(a) 为近似画法,图中还指出螺栓连接画法中易遗漏及画错之处;图(b) 表示常采用省略画倒角的简化画法。

无论是近似画法还是简化画法,当剖切平面通过螺栓、螺母、垫圈的轴线时,这些标准件均按不剖画出。

螺纹紧固件的标记由名称、标准编号、型式和尺寸等组成。排列顺序如下:

[名　称] [标准编号] [型式尺寸] — [性能等级或材料]

标记中的名称和标准编号的年份代号允许省略。

螺栓、螺母、垫圈的规定标记分别是:

螺栓　GB5782 — 86 $M12 \times 80$

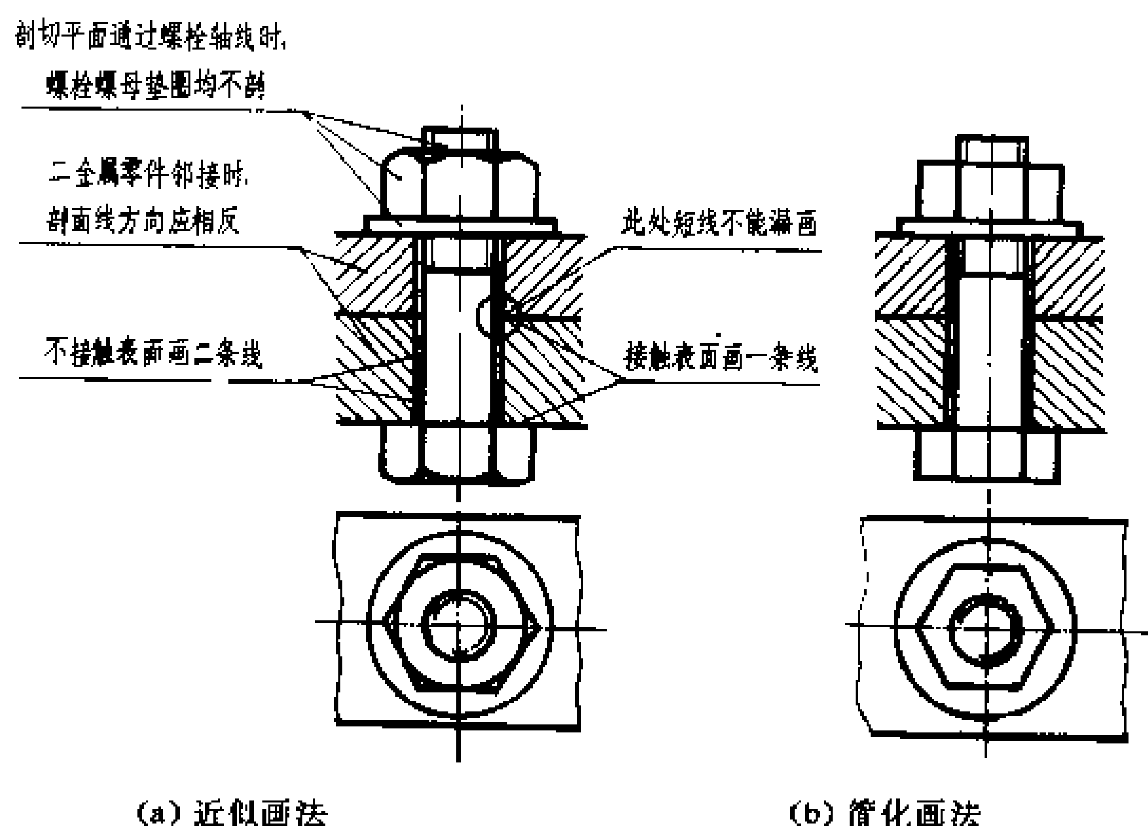
表示螺纹规格 $d = M12$,公称长度 $l = 80\text{mm}$、A 级六角头螺栓。

螺母　GB6170 — 86 $M12$

表示螺纹规格 $D = M12$,A 级的 1 型六角螺母。

垫圈　GB97.2 — 85　12 — 140HV

表示公称直径 $d = 12\text{mm}$,性能等级为 140HV 级、倒角型平垫圈。140HV 表示材料的硬度 $\text{HV} \geqslant 140$。



(a) 近似画法　　(b) 简化画法

图 8-18　螺栓连接画法

根据标记，可从有关标准中查得某一螺纹紧固件的各种部分尺寸。例如：

螺栓 GB5782 — 86　$M12 \times 80$

根据标准代号 GB5782 — 86 和螺栓的螺纹规格 $M12$，就可查得 $C_{max} = 0.6mm$、$d_{wmin} = 16.6mm$、$e_{min} = 20.03mm$、$k = 7.5mm$、$S_{max} = 18mm$。再根据 $M = 12$ 与 $l = 80$ 可计算得夹紧长度 $l_k = l - b = 50mm$。

2. 双头螺柱连接

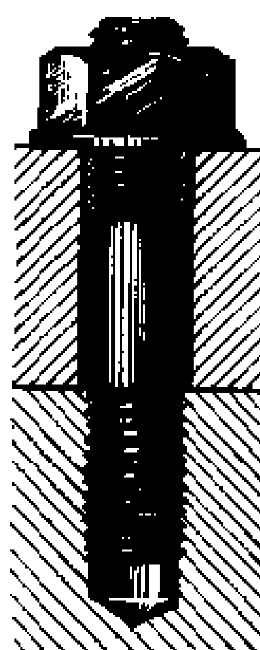


图 8-19　螺柱连接

双头螺柱连接用于被连接零件之一较厚，或因其他原因不宜用螺栓连接的场合，如图 8-19 所示。连接时，将螺柱的旋入端旋入被连接零件之一的螺孔内，另一端则穿过另一被连接零件的通孔，加上垫圈并拧紧螺母即可。

根据结构不同，双头螺柱分为 A 型和 B 型两种型式(见表 8-4)。

A 型是车制，B 型是辗制。图中 b_m 为旋入机体一端的长度，长度 b_m 与被旋入零件的材料有关：

表 8-4　双头螺柱的型式及其标记

图　　例	标记说明
倒角端　A型　倒角端 x　x　b b_m　l	螺柱 GB898 — 88 $M10 \times 50$　表示两端均为粗牙普通螺纹，直径 10mm，长 $l = 50mm$，$b_m = 1.25d$，按 B 型制造的双头螺柱。
辗制末端　B型　辗制末端 x　x　b b_m　l	螺柱 GB898 — 88 $AM10 - M10 \times 1 \times 50$ 表示旋入机体一端为粗牙普通螺纹，旋螺母一端为螺距 1mm 的细牙普通螺纹，直径 10mm，长 $l = 50mm$，$b_m = 1.25d$，按 A 型制造的双头螺柱。

$b_m = 1d$(用于钢) 见 GB897 — 88；

$b_m = 1.25d$(用于铸铁) 见 GB898 — 88；

$b_m = 1.5d$(用于铸铁) 见 GB899 — 88；

$b_m = 2d$(用于铝合金) 见 GB900 — 88。

螺柱连接画法和螺栓连接画法类似，如图 8-20。画图时还要注意：

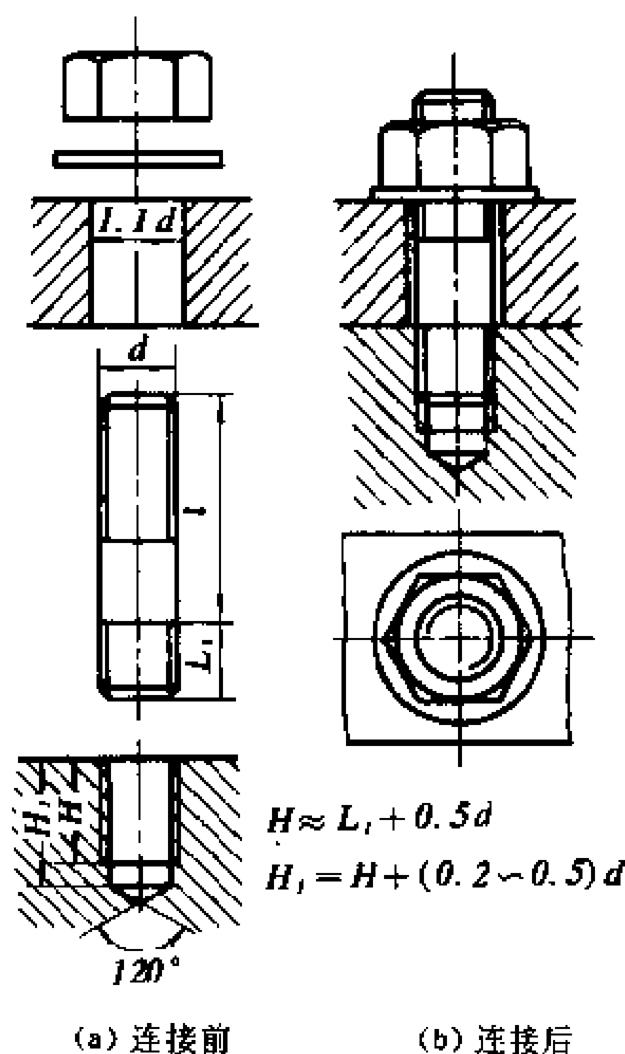
(1) 不论双头螺柱的型式如何，均可按图 8-20 所示型式绘制；

(2) 螺柱旋入端的螺纹的终止线，应画成与被连接件表面相重合(图 8-20b)。

螺柱的规定标记为：

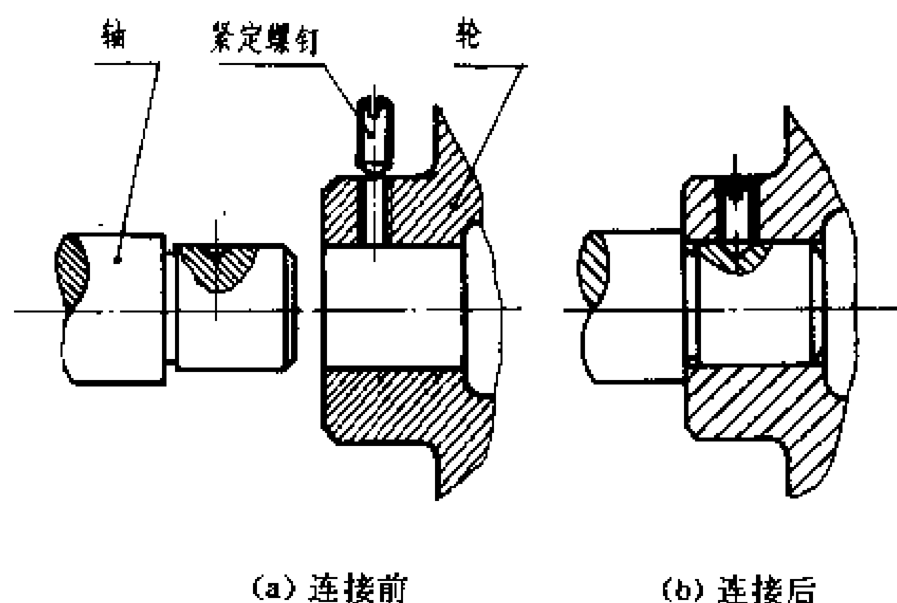
螺柱　GB898 — 88　$M10 \times 50$

表示双头螺柱两端的螺纹规格为 $M10$、公称长度 $l = 50mm$、B 型、$b_m = 1.25d = 12.5mm$。当按 B 型制造时，在型式尺寸代号中"B"字省略不注。



(a) 连接前　　(b) 连接后

图 8-20　双头螺柱连接及其近似画法



(a) 连接前　　(b) 连接后

图 8-21　锥端紧定螺钉的连接画法

3. 螺钉连接

(1) 螺钉种类

按用途可分为连接螺钉和紧定螺钉。

螺钉连接一般用在螺钉尺寸较小、受力不大或不需经常装拆的连接中，因为螺钉是直接拧紧在零件上，经常装拆会使零件上的螺孔磨损。

常用的连接螺钉有开槽(或十字槽) 圆柱头螺钉、盘头螺钉、沉头螺钉、半沉头螺钉等。

紧定螺钉用来固定两个零件的相对位置，使它们不产生相对运动。如图 8-21 中开槽锥端紧定螺钉，固定了轮与轴的相对位置，防止轴向相对移动。

常用的紧定螺钉按其末端型式不同有锥端紧定螺钉、平端紧定螺钉、凹端紧定螺钉、长圆柱端紧定螺钉等。

螺钉的规定标记为：

螺钉　GB65 — 85　$M5 \times 30$

表示螺纹规格为 $M5$、公称长度 $l=30$mm 的开槽圆柱头螺钉。

常用螺钉的种类及其标记见表 8-5。

(2) 螺钉的连接画法

螺钉的连接画法，可采用准确画法，也可采用近似画法。其画法与螺栓的连接画法类似。图 8-22 为螺钉连接及其近似画法。

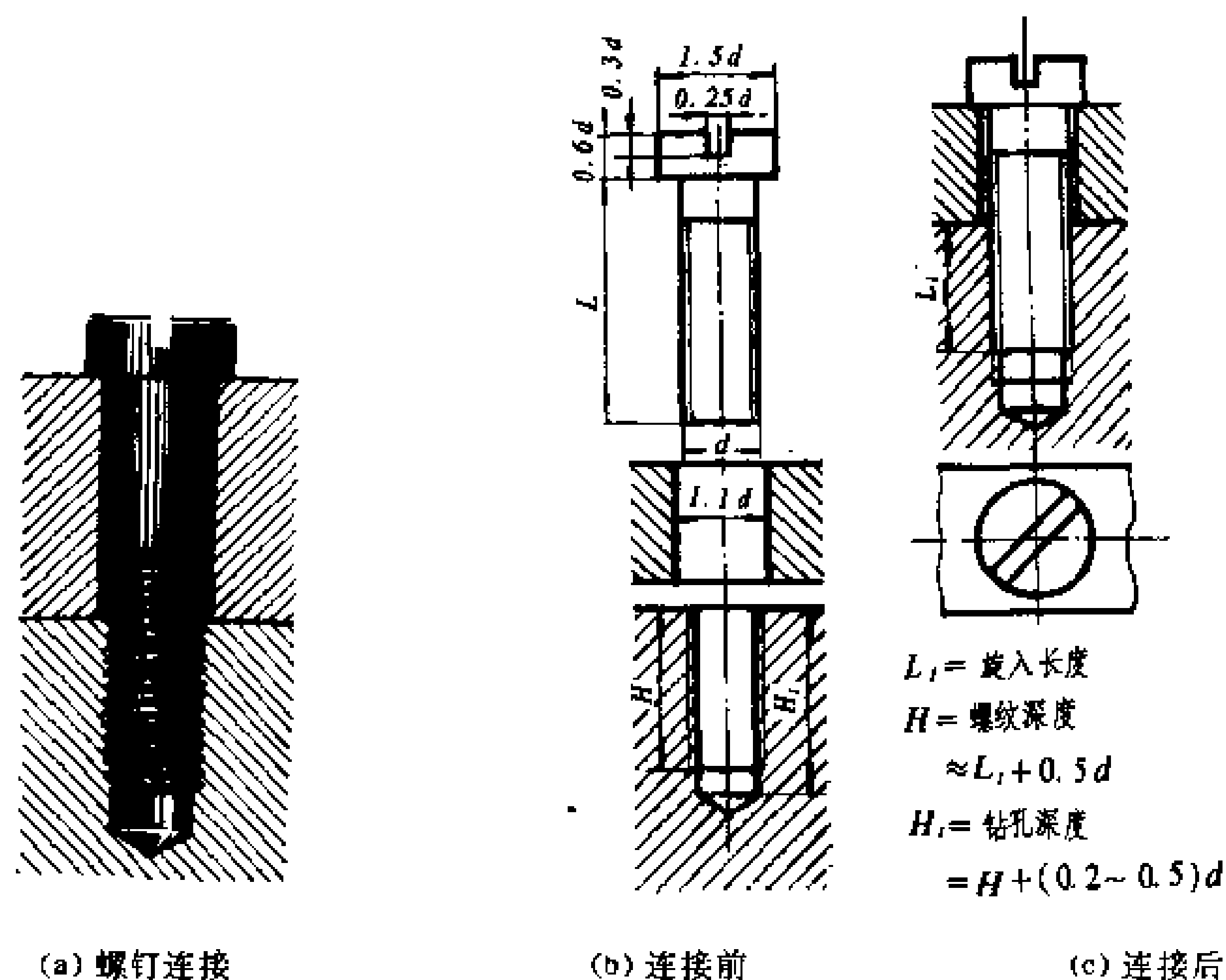


图 8-22 螺钉连接及其近似画法

在画不穿通的螺孔时，一般应将钻孔深度和螺孔深度分别画出，如图 8-23a；也可以不画出钻孔深度，仅画出螺孔深度，如图 8-23b；也可采用图 8-23c、d 的简化画法。在投影为圆的视图中，螺钉头部的一字槽规定画成与中心线倾斜成 45° 的位置。

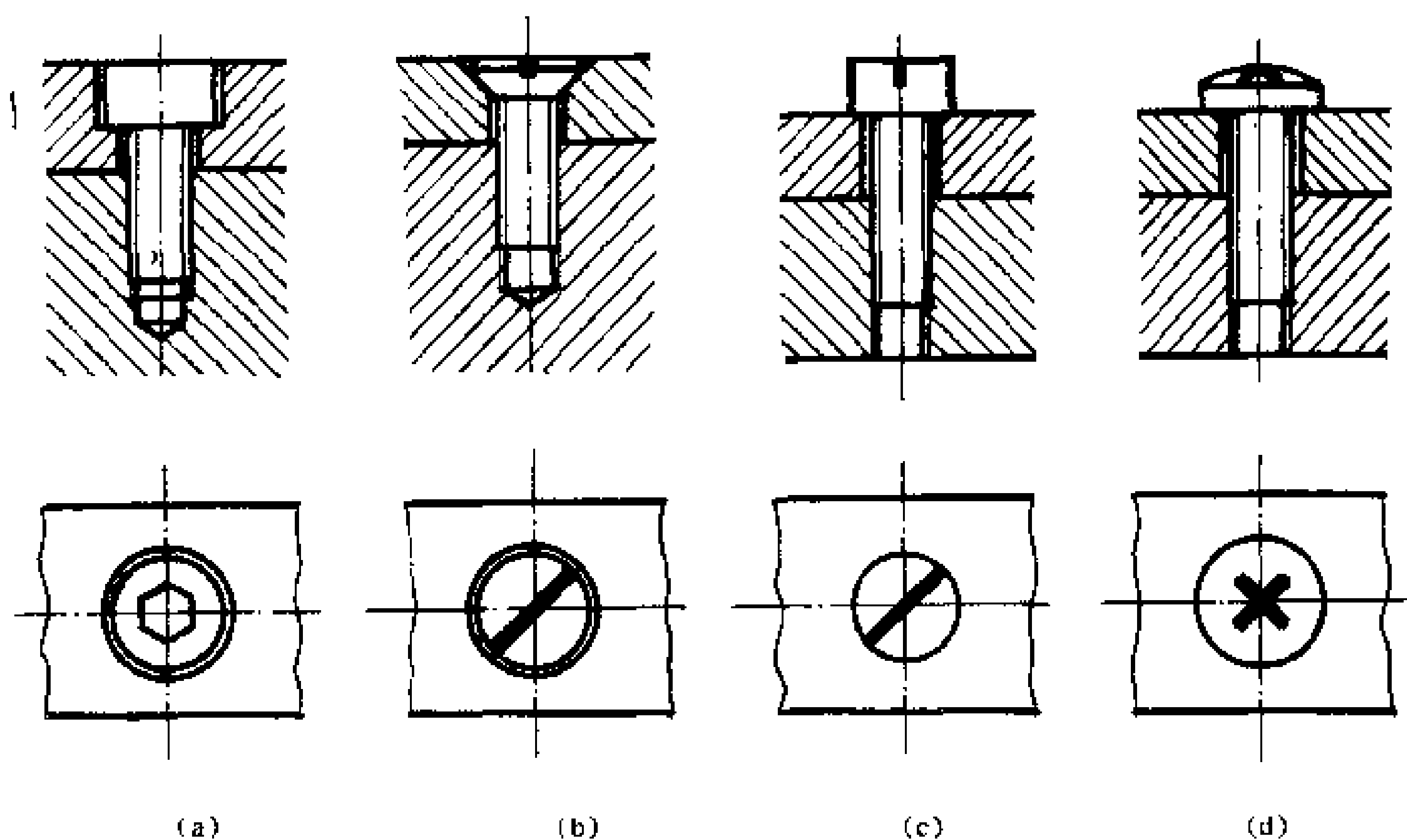


图 8-23 螺钉的简化画法

表 8-5　常用的螺钉种类及其标记

种类	图例	标记说明
连接螺钉	(a) 开槽圆柱头螺钉 (GB 65 — 85) (c) 开槽沉头螺钉 (GB68 — 85) (b) 开槽盘头螺钉 (GB67 — 85) (d) 开槽半沉头螺钉 (GB69 — 85)	螺钉 GB67 — 85　$M10\times30$ 表示螺纹规格　$d=M10$, 公称长度　$l=30$mm 的开槽盘头螺钉。
紧定螺钉	(a) 开槽锥端紧定螺钉(GB71 — 85) (b) 开槽平端紧定螺钉(GB73 — 85) (c) 开槽长圆柱端紧定螺钉(GB75 — 85)	螺钉　GB71 — 85　$M10\times30$ 表示螺纹规格　$d=M10$, 公称长度　$l=30$mm 开槽锥端紧定螺钉。

注:有关详细尺寸及其他类型螺钉,请参看手册或有关标准。

8.2 键

键通常用来联结轴和装在轴上的转动零件，起传递扭矩的作用。如在图 8-1 的齿轮减速器中，齿轮和轴就是用平键联结起来的。当齿轮转动时、通过平键就可以带动轴同时旋转；同样、转动的轴也可通过平键带动齿轮旋转。联结时键的一部分嵌入轴的键槽中，而另一部分则套入轮毂的键槽中。

常用的键有：用于松联结的普通平键，用于紧固联结的楔键，用于扭矩力较小且松联结的半圆键等。国家标准《键联结》是 1979 年修订，1990 年确认有效的。

图 8-24 是普通平键的三种型式。图 8-25 是半圆键的型式。

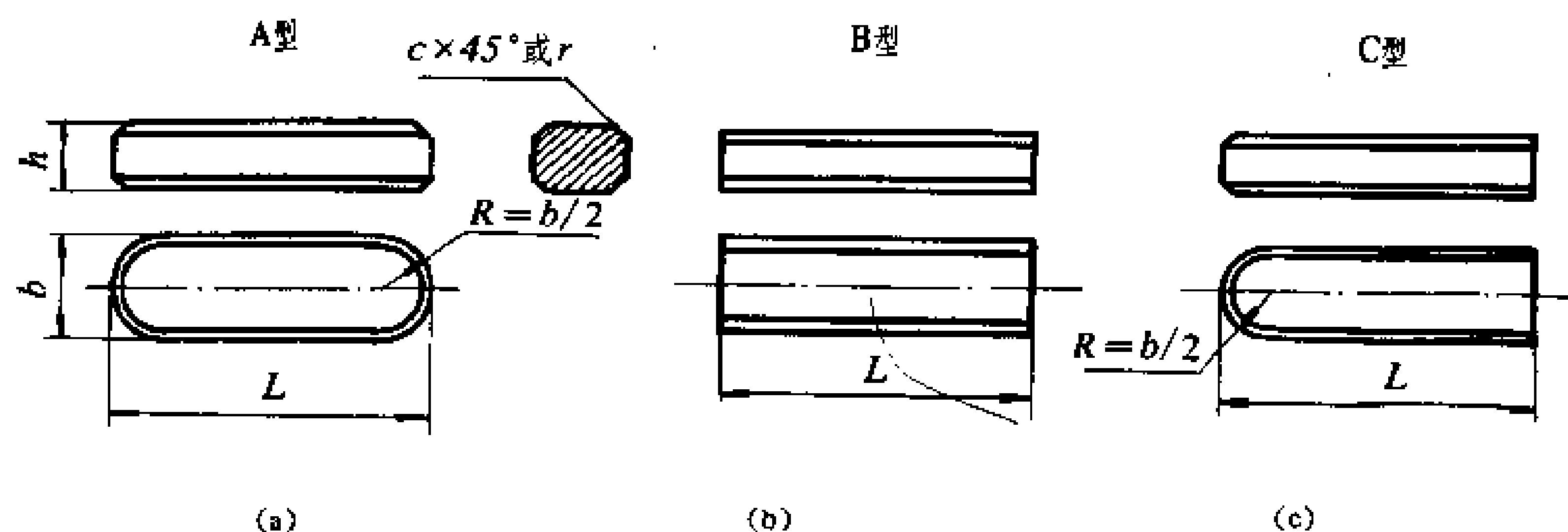


图 8-24　普通平键的三种型式

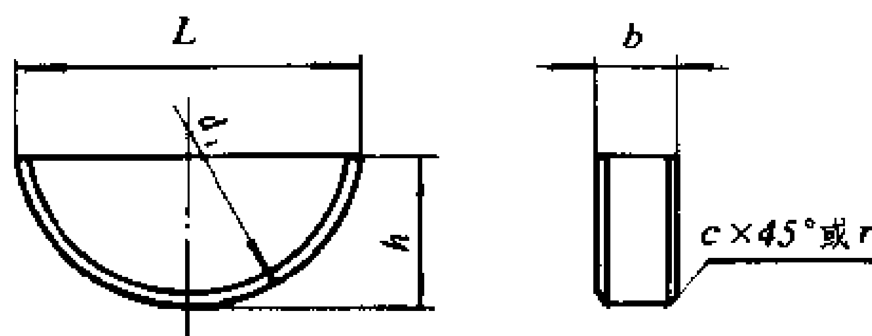


图 8-25　半圆键

普通平键标记示例：

键　$B18 \times 100$　GB1096 — 79

表示键宽 $b = 18$mm，键长 $L = 100$mm，键高 $h = 11$mm 的平头（B 型）普通平键。A 型为圆头普通平键，标记“A”字可省略不注。

普通平键的高度 h 和宽度 b，是根据被联结的轴的直径在《键联结》标准中选取，而长度 L 则按轮毂长度、参照标准长度系列确定。键的其余尺寸和与键相配的键槽尺寸均可在标准中查到。

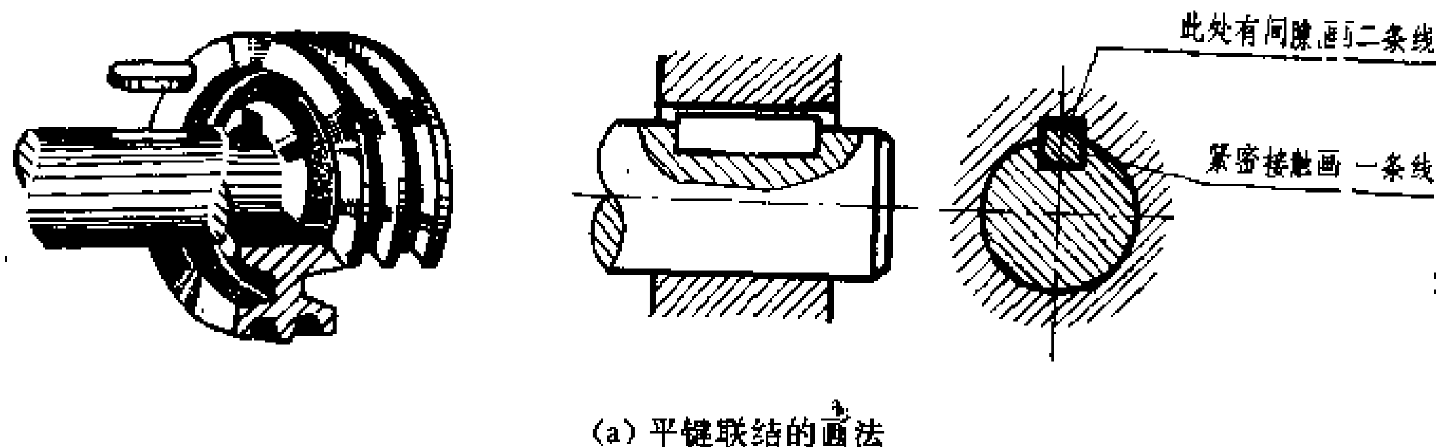
半圆键标记示例：

键 6×25　GB1099 — 79

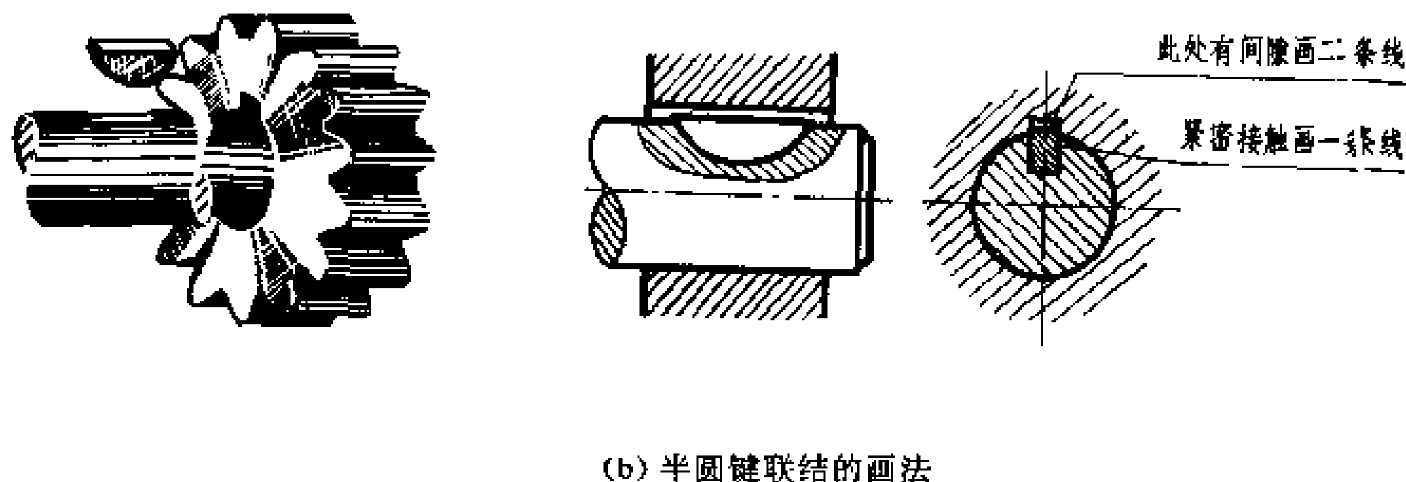
表示键宽 $b = 6$mm，高 $h = 10$mm，直径 $d_1 = 25$mm 的半圆键。

半圆键及其键槽尺寸，亦可根据被联结轴的直径，在国家标准中查到。

键在装配图上的画法和螺钉等一般的实心零件相同，如图 8-26 所示。在主视图上，键被纵向剖切，按不剖处理，不画剖面符号；在左视图上被横向剖切，要画上剖面线。



(a) 平键联结的画法



(b) 半圆键联结的画法

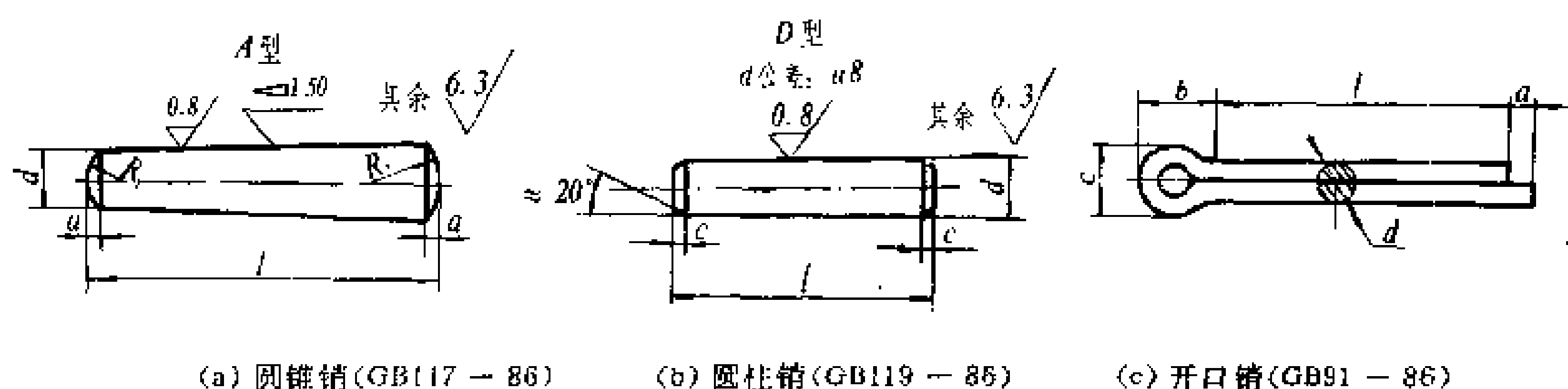
图 8-26　键的联结画法

普通平键和半圆键的工作面是它们的两个侧面，所以键和键槽的两侧面应紧密接触，画图时应将两侧分别画成一条线；而键的顶面与轮毂顶面之间留有间隙，画图时应画成两条线。

视图中，轴的键槽常用局部剖视图来表示，它的尺寸标注方法是根据键槽的实际加工要求来标注的，其尺寸数值可按轴的直径尺寸从标准中查得。表 8-6 表示出轴的各种键槽及轮毂上键槽的不同加工方式和尺寸的标注方法。

8.3　销

销也是一种可拆的连接用标准件。通常用于零件间的连接、定位或防松。常用的销有圆锥销、圆柱销和开口销，如图 8-27。



(a) 圆锥销(GB117 — 86)　(b) 圆柱销(GB119 — 86)　(c) 开口销(GB91 — 86)

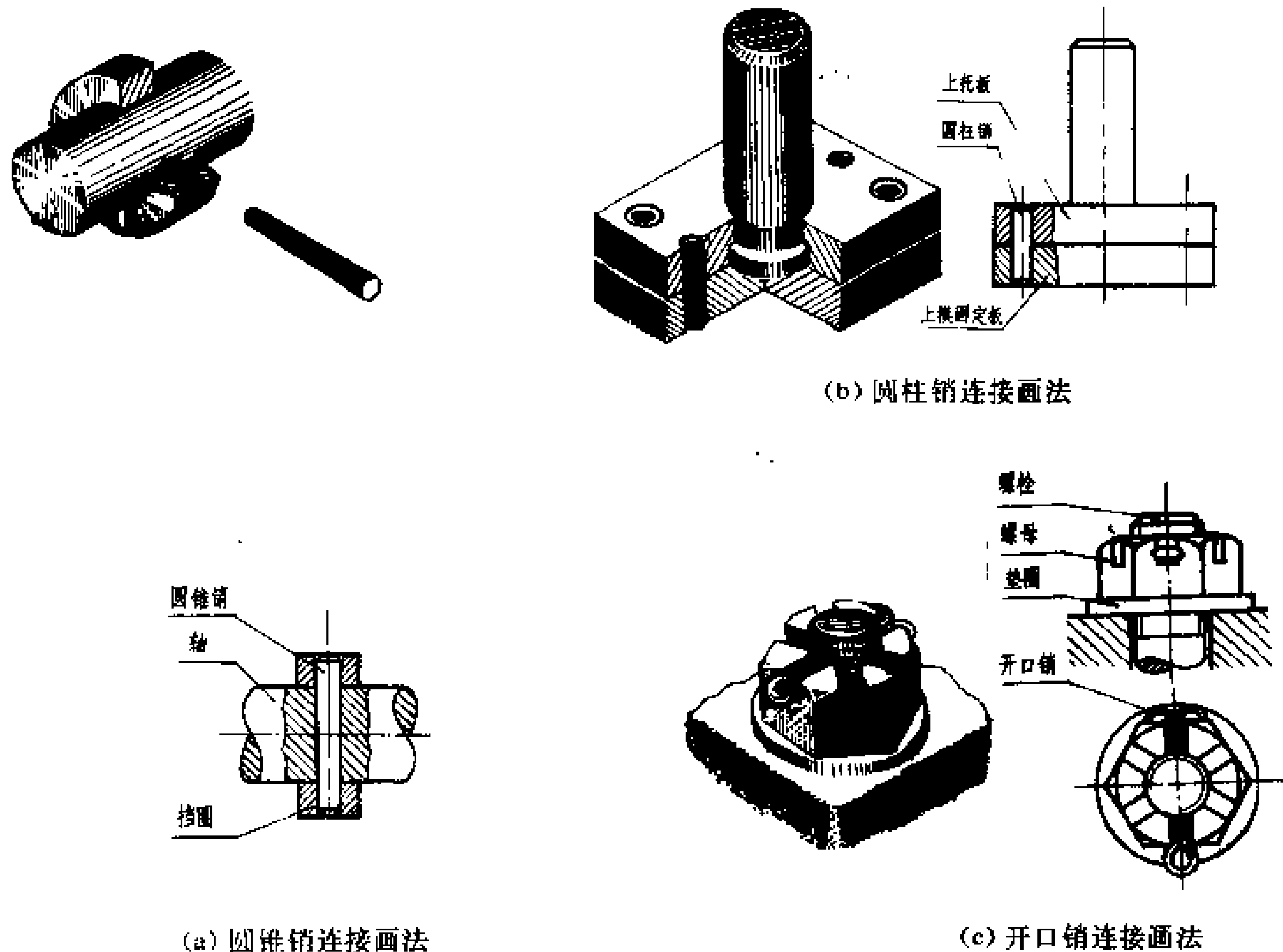
图 8-27　各种销的型式

圆锥销、圆柱销常用来连接或定位。开口销是由断面为半圆形的金属丝弯成，常与带孔螺栓和槽形螺母一起使用，它可防止螺母松脱。图 8-28 为各种销及其连接画法。

表 8-6　键槽的加工方式及尺寸的标注方法

键槽型式	加工方式	尺寸标注方法
A型平键槽	立铣刀	A—A
B型平键槽	圆盘铣刀	A—A
半圆键槽	带柄圆铣刀	A—A
轮毂上键槽	插刀	

圆锥销分 A 型（磨削）和 B 型（车削）两种；圆柱销则按不同的配合为 A 型（$dm6$）、B 型（$dh8$）、C 型



(b) 圆柱销连接画法

(a) 圆锥销连接画法　　(c) 开口销连接画法

图 8-28　各种销的连接画法

(*dh*11) 和 *D* 型(*du*8) 等四种(见附录)。

销的标记示例：

销 GB119－86　*A*10 × 60

表示公称直径 $d = 10$mm、长度 $l = 60$mm、热处理硬度 *HRC*28 － 38、表面氧化处理的 *A* 型圆柱销。

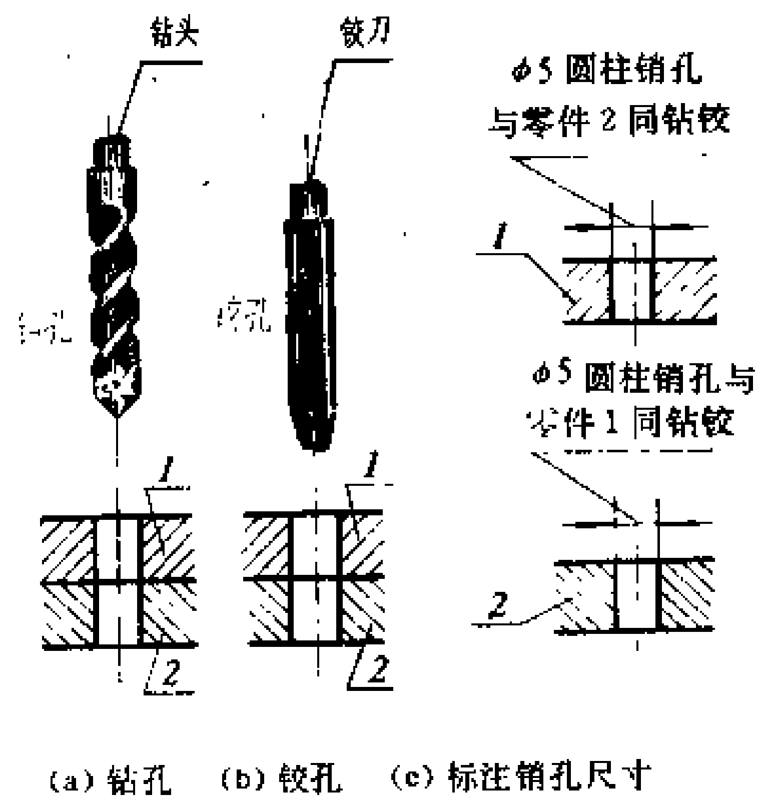
销 GB91－86　5 × 50

表示公称直径 $d = 5$mm、长度 $l = 50$mm、材料为低碳钢、不经表面处理的开口销。

各种销的型式、尺寸可从有关国家标准中查得。

在圆锥销、圆柱销的连接画法中，当剖切平面通过销的轴线时，销作不剖处理(图 8-28)。

用销来连接或定位零件时，被连接或被定位的两零件的销孔必须同时加工，这样才能容易对准位置，这一点应当在这两个零件的零件图上注明。如图 8-29。



(a) 钻孔　(b) 铰孔　(c) 标注销孔尺寸

图 8-29　销孔的加工过程及尺寸标注

8.4　齿　　轮

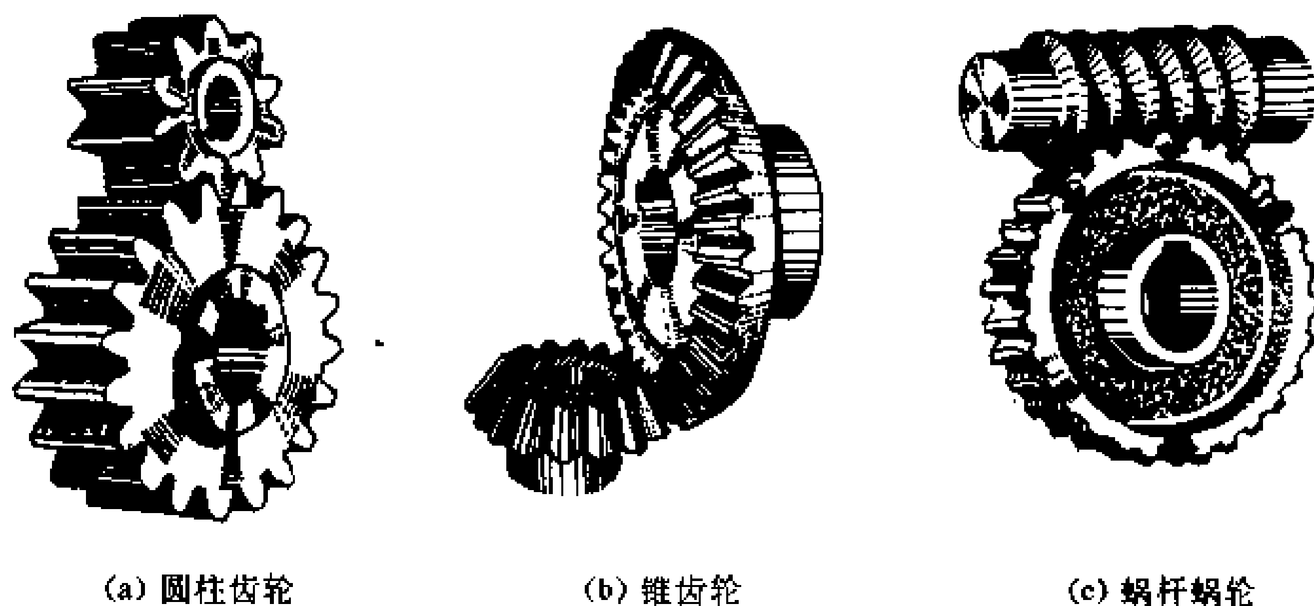
齿轮是一种使用广泛的传动件，它不但可用来传递动力，而且可用来改变转速和回转方向。例如，图 8-1 的齿轮减速器就是依靠一对圆柱齿轮来减速的。

常用齿轮种类有三种：

圆柱齿轮　用于两平行轴间的传动，如图 8-30a；

锥齿轮　用于两相交轴间的传动，如图 8-30b；

蜗杆蜗轮　用于两交叉轴间的传动，如图 8-30c。

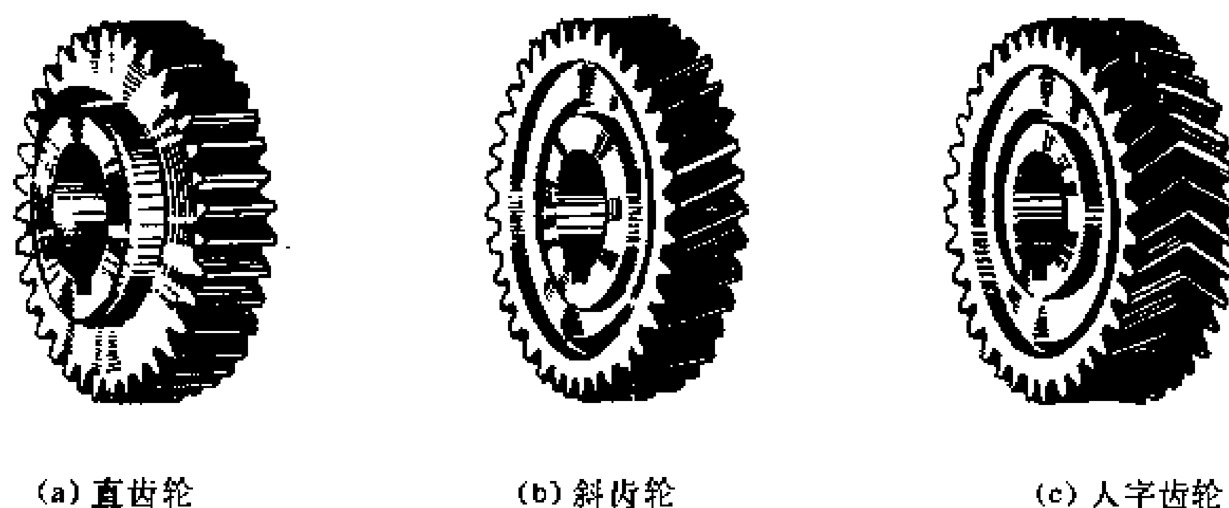


(a) 圆柱齿轮　(b) 锥齿轮　(c) 蜗杆蜗轮

图 8-30　常用的几种齿轮

8.4.1　圆柱齿轮

圆柱齿轮由于轮齿与齿轮轴线方向不同，可分为直齿轮、斜齿轮和人字齿轮三种，如图 8-31 所示。常用的是直齿圆柱齿轮。



(a) 直齿轮　(b) 斜齿轮　(c) 人字齿轮

图 8-31　圆柱齿轮

1. 直齿圆柱齿轮各几何要素的名称、代号和尺寸计算

齿顶圆直径 d_a—— 过齿顶面所作的圆的直径。

齿根圆直径 d_f—— 过齿根所作的圆的直径。

节圆直径 d' —— 两啮合齿轮的中心分别为 O_1，O_2，两齿轮齿廓上的啮合点是连心线 O_1O_2 上的 P 点(叫作节点)。分别以 O_1，O_2 为圆心，O_1P，O_2P 为半径作圆。齿轮传动可以假想是这两个圆在作纯滚动，这两个圆称为齿轮的节圆，其直径用 d' 表示。

分度圆直径 d —— 齿轮上的一个约定的圆柱面，齿轮的轮齿尺寸从此圆柱面为基准而加以确定，该圆柱面与端平面(垂直齿轮轴的平面)的交线为分度圆，其直径用 d 表示。对于标准齿轮来说，节圆等于分度圆。

齿高 h—— 齿顶面到齿根部的径向距离。

齿顶高 h_a—— 齿顶面到分度圆的径向距离。

齿根高 h_f —— 分度圆到齿根部的径向距离。

齿距 p —— 分度圆上相邻两齿对应点间的弧长。两啮合齿轮的齿距应相等。

齿厚 s—— 每个轮齿在分度圆周上的弧长。对于标准齿轮，齿厚为齿距的二分之一。

槽宽 e—— 两齿相邻两侧面在分度圆周上的弧长。

齿宽 b—— 轮齿沿轴向的长度。

齿形角 α—— 又称压力角。从图 8-32 中可以看出，齿形角 α 是力的方向和运动方向之间的夹角。在我国标准齿轮中，齿形角规定为 20°。

齿数 z—— 一个齿轮的轮齿总数。

模数 m—— 齿距除以圆周率 π 所得的商，即 $m = p/\pi$。

从图 8-32 中可以看出，齿距和分度面的关系是 $\pi d = zp$，$d = (p/\pi)z$，故：

$$d = mz$$

模数是计算齿轮各几何要素的一个基本参数。一对啮合齿轮的模数必须相等。在制造齿轮时，根据模数的具体数值来选择不同的刀具。模数体现出轮齿大小和强度，模数越大，齿轮各部分尺寸也随之增大，于是轮齿能承受的力也越大。

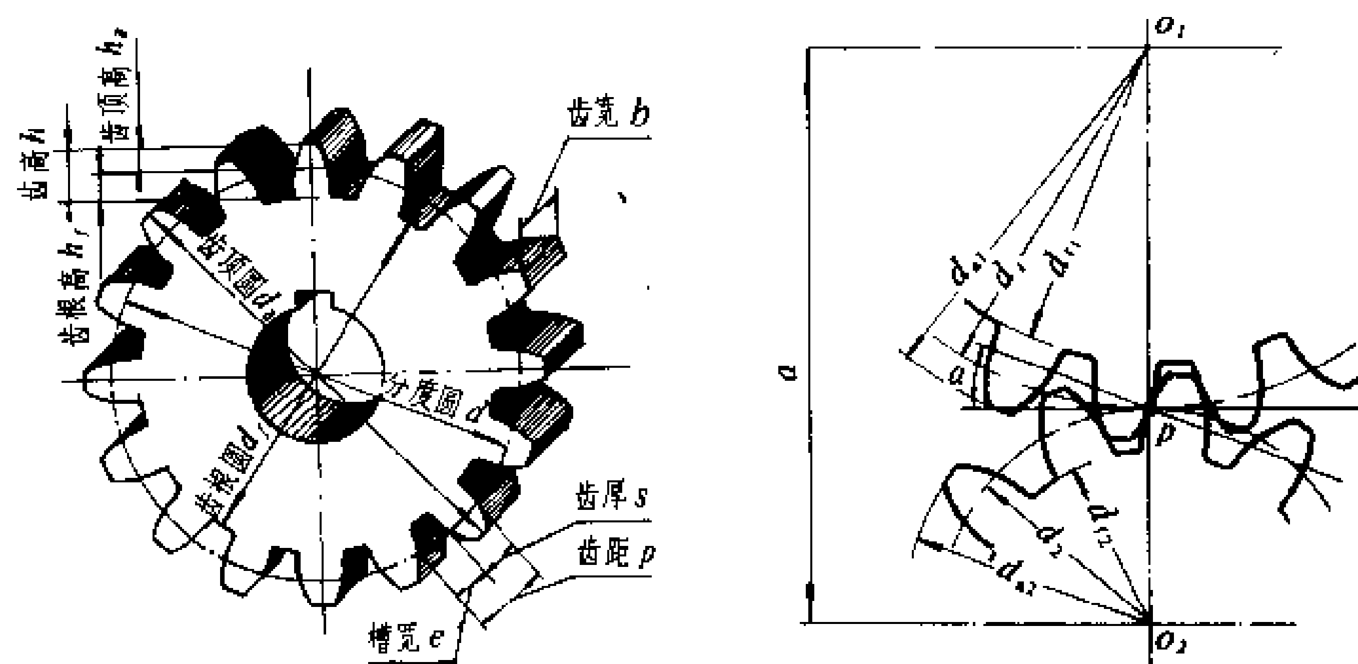


图 8-32 圆柱齿轮各几何要素名称和代号

模数的单位是毫米，其数值主要由受力大小、所用材料等因素在设计时决定。为了设计和制造齿轮的方便，模数数值已标准化。表 8-7 即为国家标准规定的圆柱齿轮模数。设计和制造齿轮时，都应采用标准模数。

表 8-7 **圆柱齿轮模数**(GB 1357 — 87)

第一系列	0.1,0.12,0.15,0.2,0.25,0.3,0.4,0.5,0.6,0.8,1,1.25,1.5,2, 2.5,3,4,5,6,8,10,12,16,20,25,32,40,50
第二系列	0.35,0.7,0.9,1.75,2.25,2.75,(3.25),3.5,(3.75),4.5,5.5,(6.5) 7,9,(11),14,18,22,28,36,45

注：本表适用于渐开线圆柱齿轮，对斜齿轮是指法面模数，选取时要求采用第一系列，括号内的模数值尽可能不用。

计算齿轮各几何要素的基本参数是模数 m 和齿数 z，其计算公式见表 8-8。

表 8-8　直齿圆柱齿轮各几何要素尺寸计算公式

名　　称	计算公式	举例(已知 $m=10, z=25$)
分度圆直径	$d=m\cdot z$	$d=10\times 25=250\text{mm}$
齿顶高	$h_a=m$	$h_a=10\text{mm}$
齿根高	$h_f=1.25m$	$h_f=1.25\times 10=12.5\text{mm}$
齿顶圆直径	$d_a=d+2h_a=mz+2m=m(z+2)$	$d_a=10(25+2)=270\text{mm}$
齿根圆直径	$d_f=d-2h_f=mz-2.5m=m(z-2.5)$	$d_f=10(25-2.5)=225\text{mm}$
齿　　厚	$s=\frac{p}{2}=\frac{\pi m}{2}$	$s=\frac{10\pi}{2}=15.70\text{mm}$
中 心 距	$a=\frac{d_1+d_2}{2}$	由已知一对齿轮的分度圆直径可计算出

2. 圆柱齿轮的规定画法

在生产中，齿轮轮齿通常采用专用刀具或在专用机床上加工，所以像螺纹一样，一般不需要画出其真实投影。《齿轮画法》(GB4459.2－84) 规定了齿轮的画法。

单个齿轮的规定画法见图 8-33。

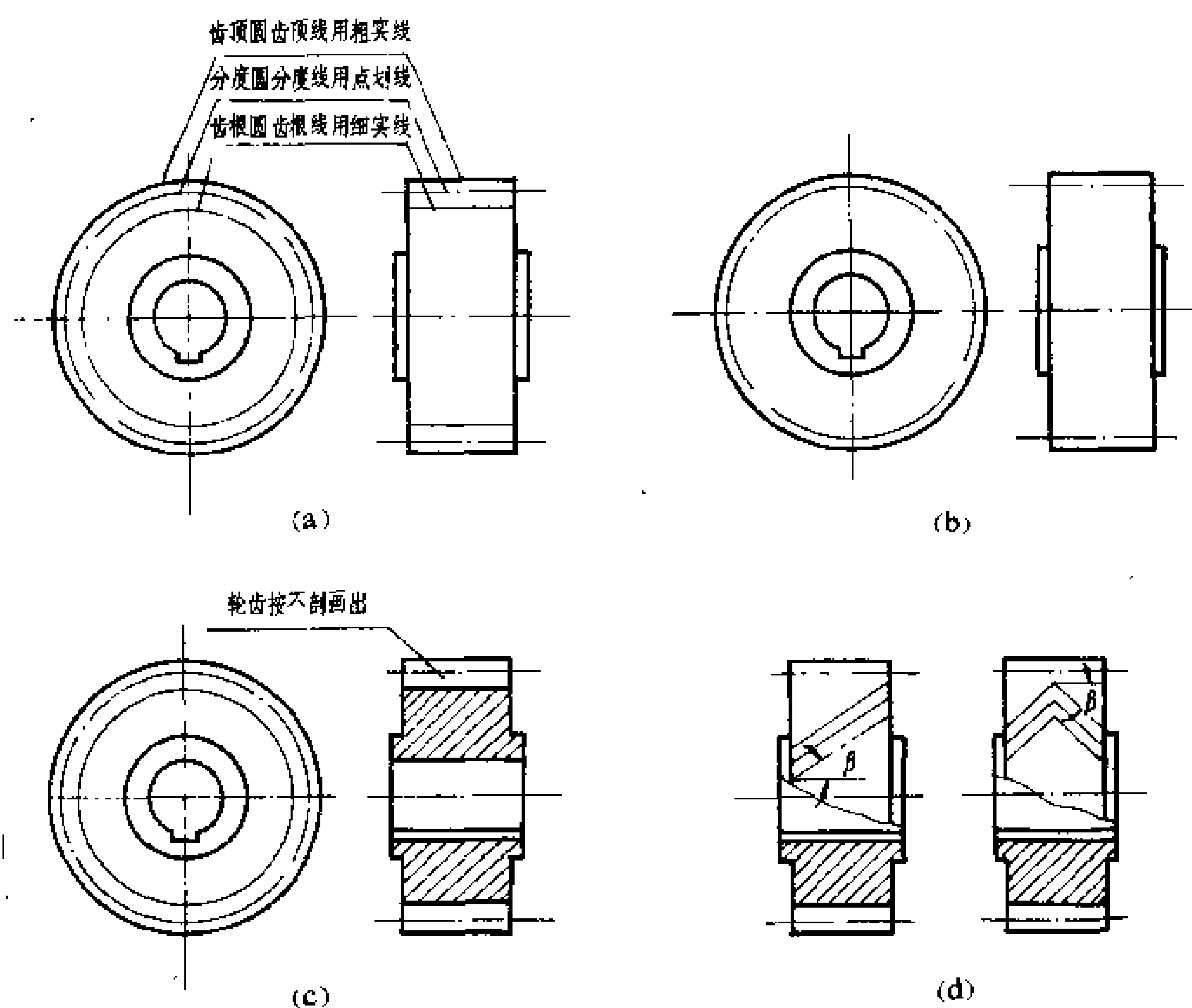


图 8-33　单个圆柱齿轮的画法

(1) 齿顶圆和齿顶线用粗实线表示；

(2) 分度圆(或节圆)和分度线(或节线)用点划线表示；

(3) 齿根圆和齿根线用细实线表示(图 8-33a)，也可省略不画(图 8-33b)。

如果在齿轮的非圆视图上作剖视，轮齿规定按不剖绘制(图 8-33c)。

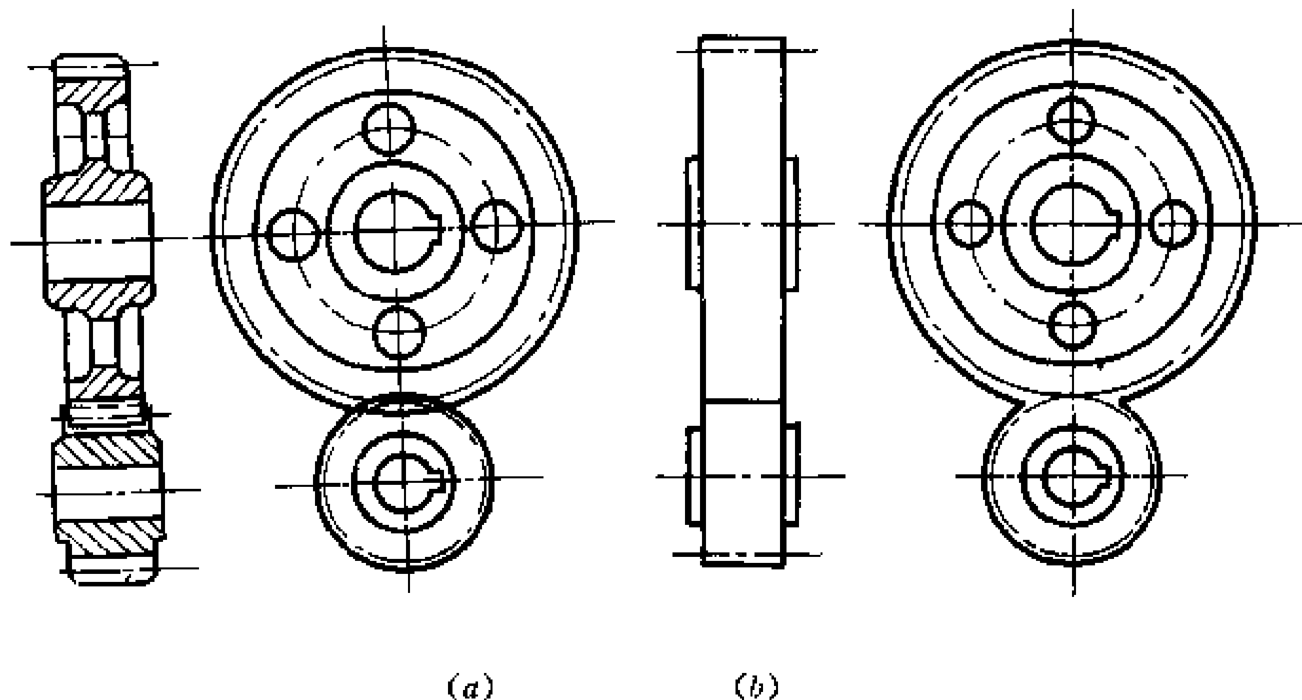
对于斜齿圆柱齿轮和人字齿轮，可将非圆视图画成半剖视或局部剖视，在表示外形的部分画出三根与轮齿方向平行的细实线，用来表示轮齿的方向(图 8-33d)。

两个啮合直齿圆柱齿轮的规定画法如图 8-34 所示。

(1) 外形视图画法

两啮合直齿圆柱齿轮，在投影为圆的视图上，节圆应相切，齿顶圆在啮合区内或用粗实线画出(图 8-34a)或省略不画(图 3-34b)。在投影为非圆的视图上，啮合区内的齿顶线、齿根线不必画出，而节线则用粗实线绘制(图 8-34b)。

(2) 剖视图画法



(a) (b)

图 8-34 圆柱齿轮的啮合画法之一

在投影为非圆的视图上，如果采用剖视，则在啮合区内：

两节线由于重合，故只画一根点划线；

齿根线画成粗实线；

将一个齿轮轮齿的齿顶线用粗实线绘制，另一个齿轮的轮齿被遮挡住齿顶线用虚线画出(图 8-34a)，也可省略虚线(图 8-35)。

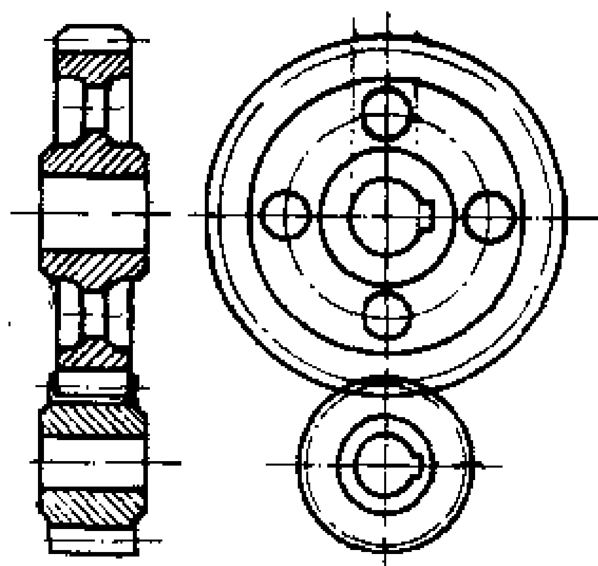


图 8-35 圆柱齿轮的啮合画法之二

齿轮和其他零件一样，除用视图表达形状外，还需根据生产要求，完整、合理地注出尺寸。轮齿部分的尺寸注法见图 8-36(其他尺寸未列入)。圆柱齿轮必须注出齿顶圆直径、分度圆直径及齿宽。在零件图的右上角，还须列出参数表，注写模数、齿数、精度等。参数表中列出的参数项目可根据需要增减；检验项目视具体情况而定。图 8-36 是圆柱齿轮(直齿)零件图格式(图中“▽”为表面粗糙度符号)。

8.4.2 锥齿轮与蜗杆蜗轮简介

1. 锥齿轮

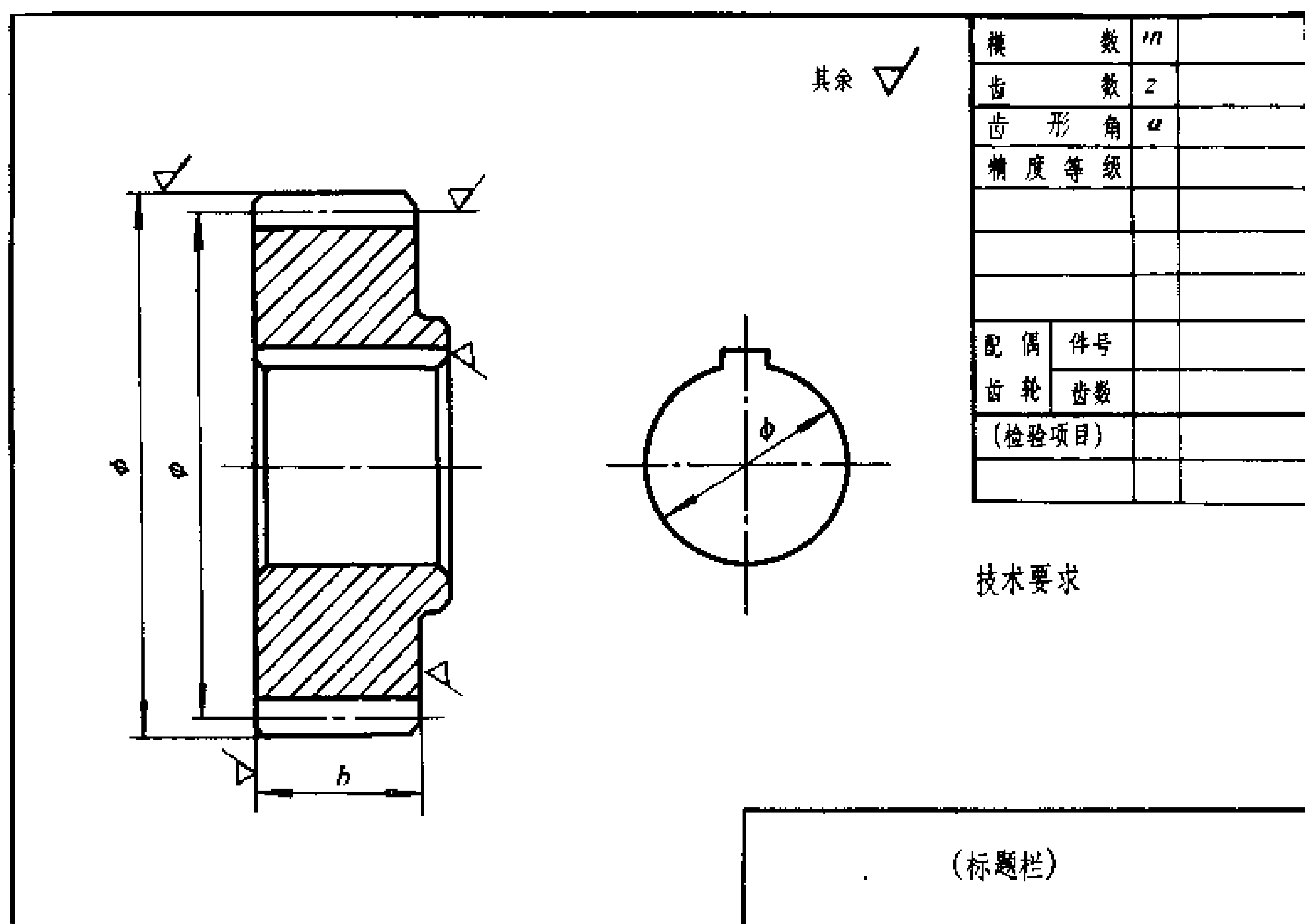


图 8-36　直齿圆柱齿轮零件图格式

锥齿轮用于相交两轴的传动，通常两轴相交成直角。锥齿轮亦有直齿、斜齿之分，常用的是直齿锥齿轮。由于它的轮齿做在圆锥面上，因而一端大一端小，两端的齿厚也就不同。模数也随着齿厚的变化而变化，国家标准规定以大端模数作为标准模数。一对啮合的锥齿轮，其模数也必须相同。

单个直齿锥齿轮的规定画法基本上与圆柱齿轮相同，主视图常画成剖视图，左视图上只要用粗实线画出齿大端和小端的齿顶圆，用点划线画出大端分度圆，而齿根圆不必画出，如图 8-37 所示。

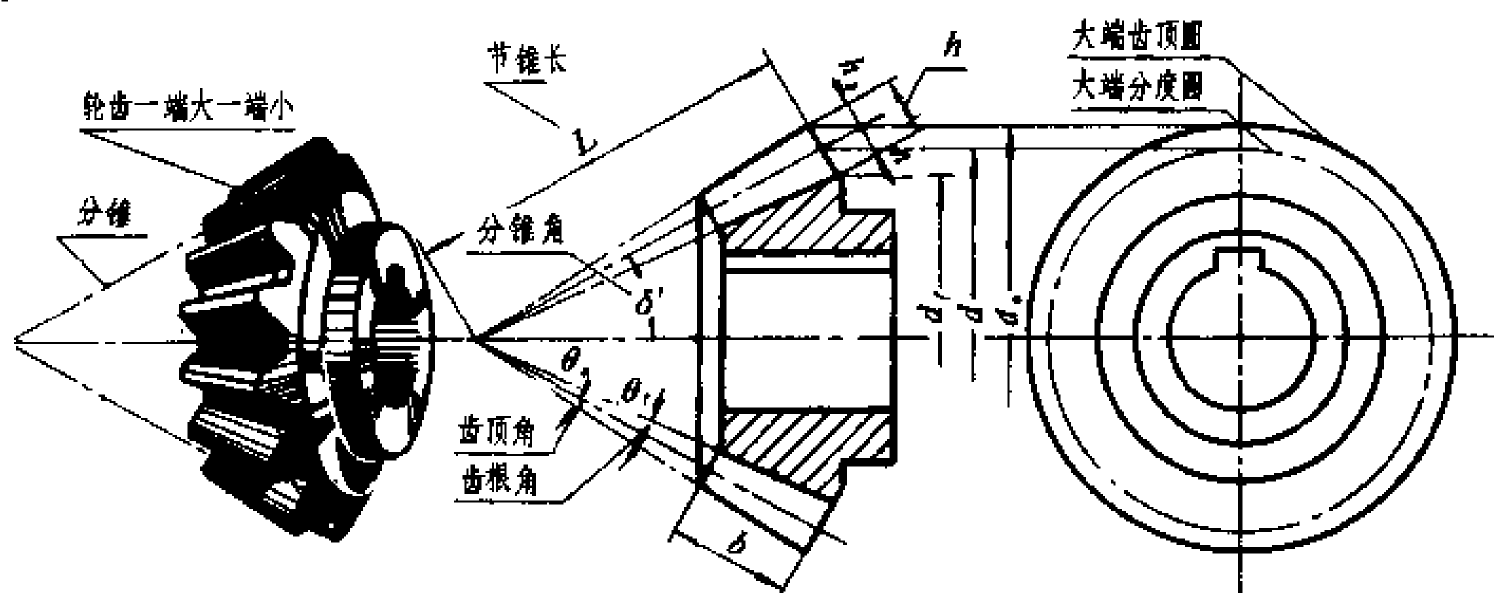


图 8-37　直齿锥齿轮各几何要素名称和代号

两锥齿轮的啮合画法如图 8-38 所示。主视图画成全剖视，左视图画成外形视图。啮合部分与圆柱齿轮画法相同。

2. 蜗杆与蜗轮

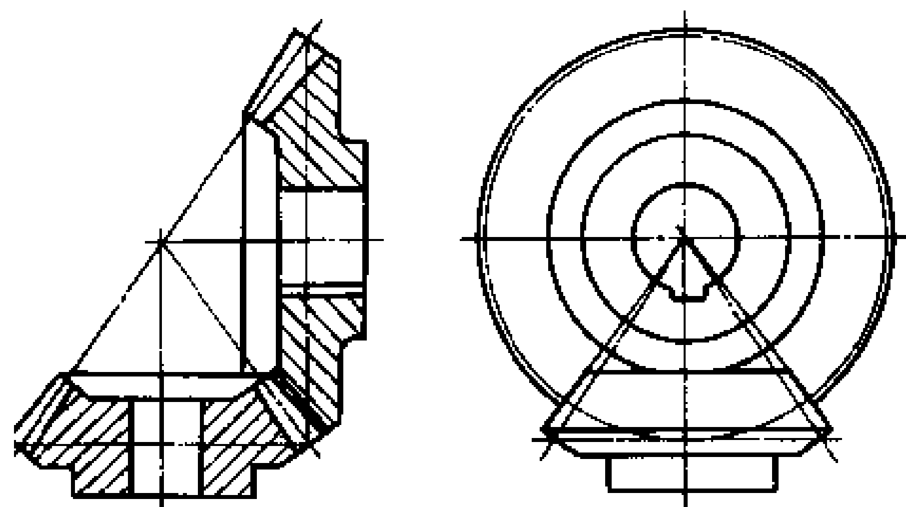


图 8-38　锥齿轮啮合画法

蜗杆与蜗轮用于垂直交叉两轴之间的传动，通常蜗杆是主动的，蜗轮是从动的。蜗杆的外形与梯形螺纹相似，有单头和多头（相当于螺杆上的线数），左旋和右旋之分。蜗轮则与斜齿轮相似。蜗杆常用单头或双头，在传动时，蜗杆旋转一圈，则蜗轮只转过一个齿或两个齿，因此可得到大的传动比。蜗杆和蜗轮的轮齿是螺旋形的，蜗轮的齿顶面和齿根面常制成圆环面。啮合的蜗杆和蜗轮的模数相同，且蜗轮的螺旋角和蜗杆的螺旋线升角大小相等。

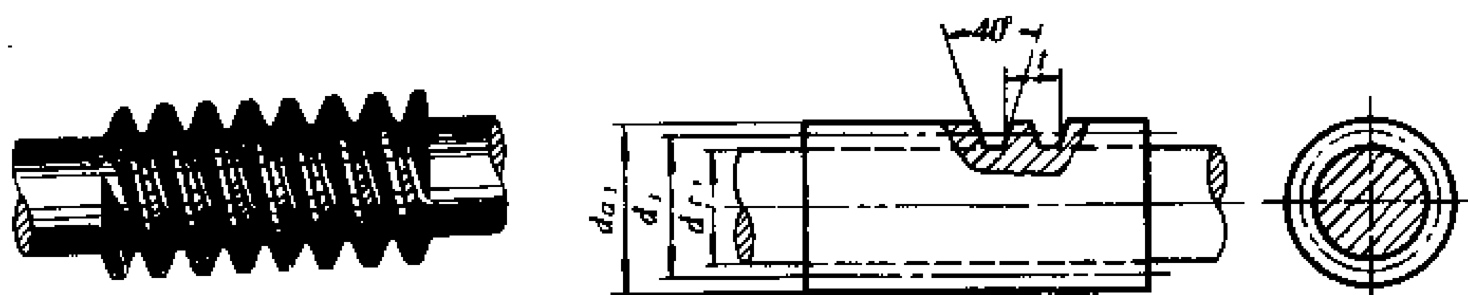


图 8-39　蜗杆各部分几何要素代号和规定画法

蜗杆、蜗轮各部分几何要素的代号和规定画法，见图 8-39 和图 8-40。其画法和圆柱齿轮规定画法基本相同，但要注意，蜗轮在端视图中齿顶圆和齿根圆可省略不画，即只需画出外圆和分度圆，如图 8-40。当蜗杆要表明齿形时可画出几个齿的齿形，如图 8-39；或用局部放大图。蜗轮与蜗杆啮合时，外形视图规定画法如图 8-41a，剖视图规定画法如图 8-41b。

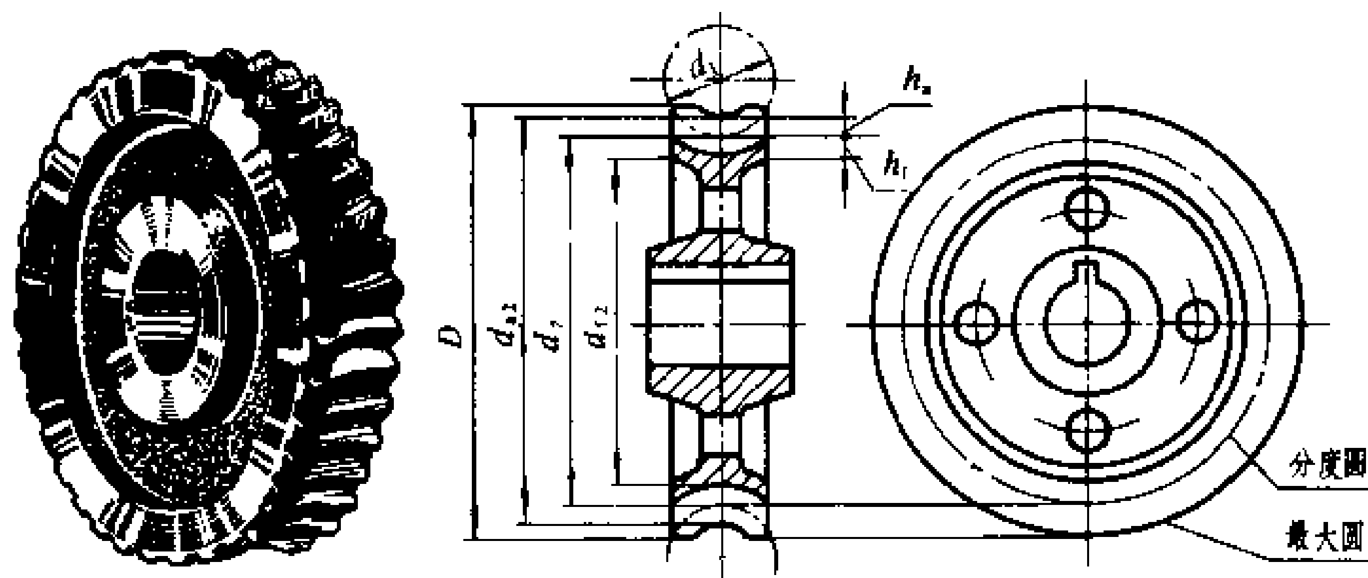


图 8-40　蜗轮各部分几何要素代号和规定画法

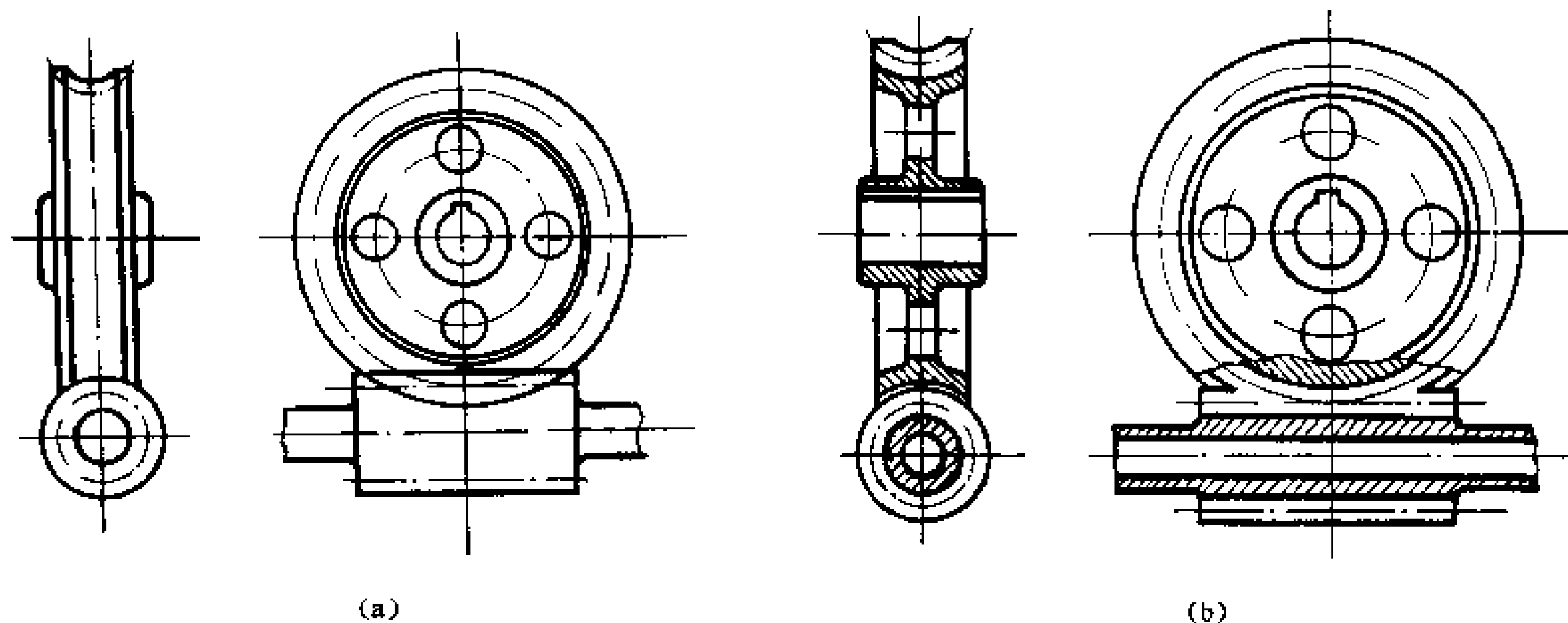


图 8-41　蜗杆蜗轮啮合画法

8.5　弹　　簧

弹簧的用途很广，主要用于减震、夹紧、测力和储存能量等，特点是在外力去掉后能恢复原来的状态。常用的是螺旋弹簧，可分为压缩弹簧、拉伸弹簧和扭转弹簧(图 8-42a,b,c)。此外还有蜗卷弹簧(图 8 42d)，板弹簧和碟形弹簧等。

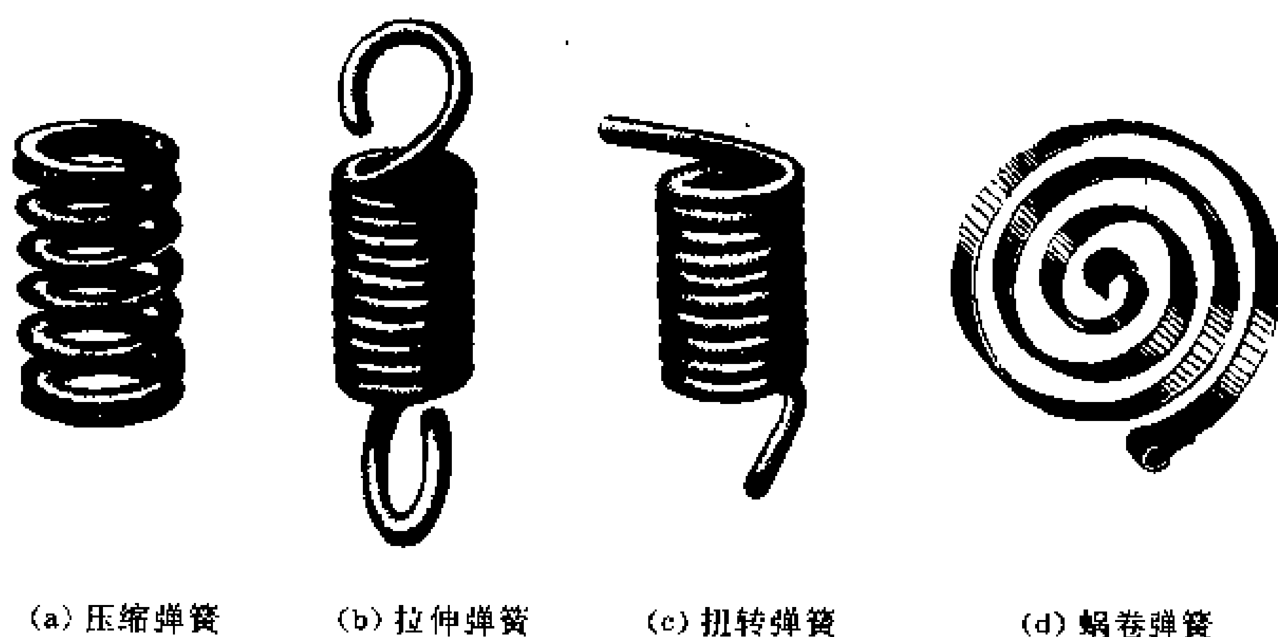


图 8-42　常用的弹簧

8.5.1　螺旋弹簧各部分名称及其尺寸计算

现在以压缩弹簧为例，介绍螺旋弹簧的各部分名称及其尺寸计算，如图 8-43 所示。

材料直径 d —— 制造弹簧的钢丝直径。

弹簧外径 D—— 弹簧外圈直径。

弹簧内径 D_1 —— 弹簧内圈直径。$D_1 = D - 2d$

弹簧中径 D_2 —— 弹簧外径和内径的平均值。

$$D_2 = (D_1 + D)/2 = D_1 + d = D - d$$

节距 t —— 两相邻有效圈截面中心线的轴向距离。

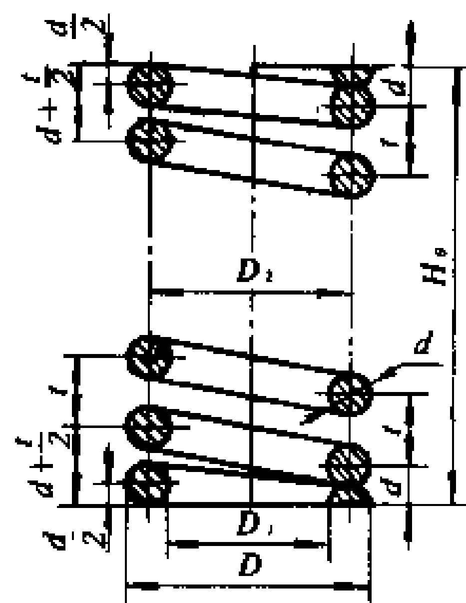


图 8-43　螺旋弹簧各部分名称

有效圈数 n、支承圈数 n_2 和总圈数 n_1 —— 为了使压缩弹簧工作时受力均匀，不致弯曲，在制造时两端节距要逐渐缩小，并将端

面磨平，它不起弹张作用，这部分叫支承圈。两端磨平长度一般为圆周的 3/4，因此支承圈通常取 1.5，2 或 2.5 圈。而其余各圈都起弹张作用，并保持相等的节距，这些圈数叫做有效圈数 n。支承圈数 n_2 和有效圈数 n 之和称为总圈数 n_1，即 $n_1 = n + n_2$。

自由高度(长度)H_0 —— 弹簧无负荷时的高度(长度)，$H_0 = nt + (n_2 - 0.5)d$。

工作高度(长度)H_1、H_2、……—— 弹簧承受工作负荷时的高度(长度)，见图 8-46。

展开长度L —— 弹簧钢丝坯料长度

$$L \approx n_1 \sqrt{(\pi D_2)^2 + t^2}$$

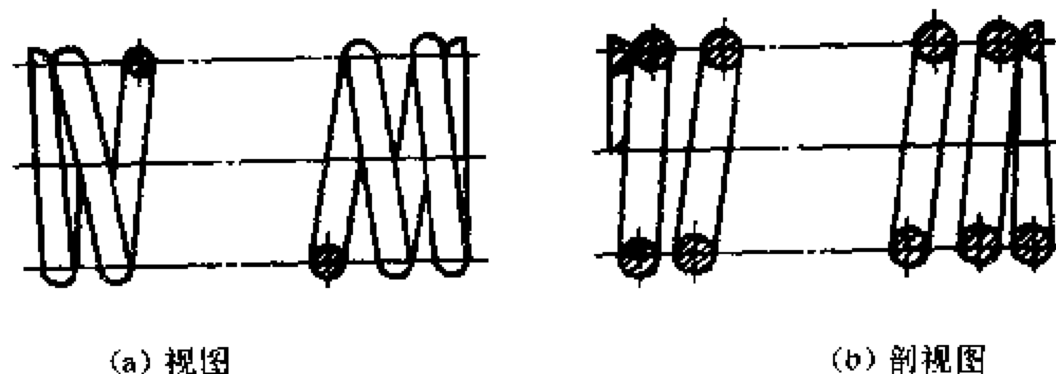
旋向 —— 弹簧绕线方向，分左、右旋两种，没有专门规定时制成右旋。

8.5.2 螺旋弹簧的规定画法

《弹簧画法》(GB4459.4 — 84) 规定了弹簧的画法。

1. 弹簧的视图和剖视图画法

图 8-44 是螺旋压缩弹簧视图和剖视图的画法。



(a) 视图　　(b) 剖视图

图 8-44　圆柱螺旋压缩弹簧画法

(1) 在平行螺旋弹簧轴线的投影面的视图中，螺旋弹簧各圈的轮廓线应画成直线。

(2) 螺旋弹簧均可画成右旋，对于左旋螺旋弹簧，不论画成左旋还是右旋，一律要注出旋向"左"字。

(3) 螺旋压缩弹簧，如要求两端并紧且磨平时，不论支承圈的圈数多少和末端贴紧情况如何，均按图 8-44 所示情况绘制，必要时也可按支承圈的实际情况绘制。

(4) 有效圈数在 4 圈以上的螺旋弹簧，其中间部分可省略不画。省略后，允许适当缩短图形的长度。

2. 装配图中弹簧的画法

(1) 在装配图中，被弹簧挡住的结构一般不画出，可见部分应从弹簧的外轮廓线从弹簧型材剖面的中心线画起，如图 8-45a。

(2) 型材直径在图形上等于或小于 2mm 的螺旋弹簧，允许用示意图绘制(图 8-45b)；当弹簧被剖切时，剖面直径在图形上等于或小于 2mm 时，也可用涂黑表示(图 8-45c)

(3) 被剖切弹簧的直径在图形上等于或小于 2mm，并且弹簧内部还有零件，为了便于表达，可按图 8-45d 的示意形式绘制。

3. 螺旋弹簧图样格式示例

图 8-46 是螺旋压缩弹簧零件图格式，绘制螺旋压缩弹簧零件图时，要求：

(1) 弹簧的参数应直接标注在图形上，当直接标注有困难时，可在"技术要求"中说明。

(2) 一般用图解方式表示弹簧的机械性能，圆柱螺旋压缩弹簧的机械性能曲线均画成直线(用粗直线绘制)，标注在主视图上方。

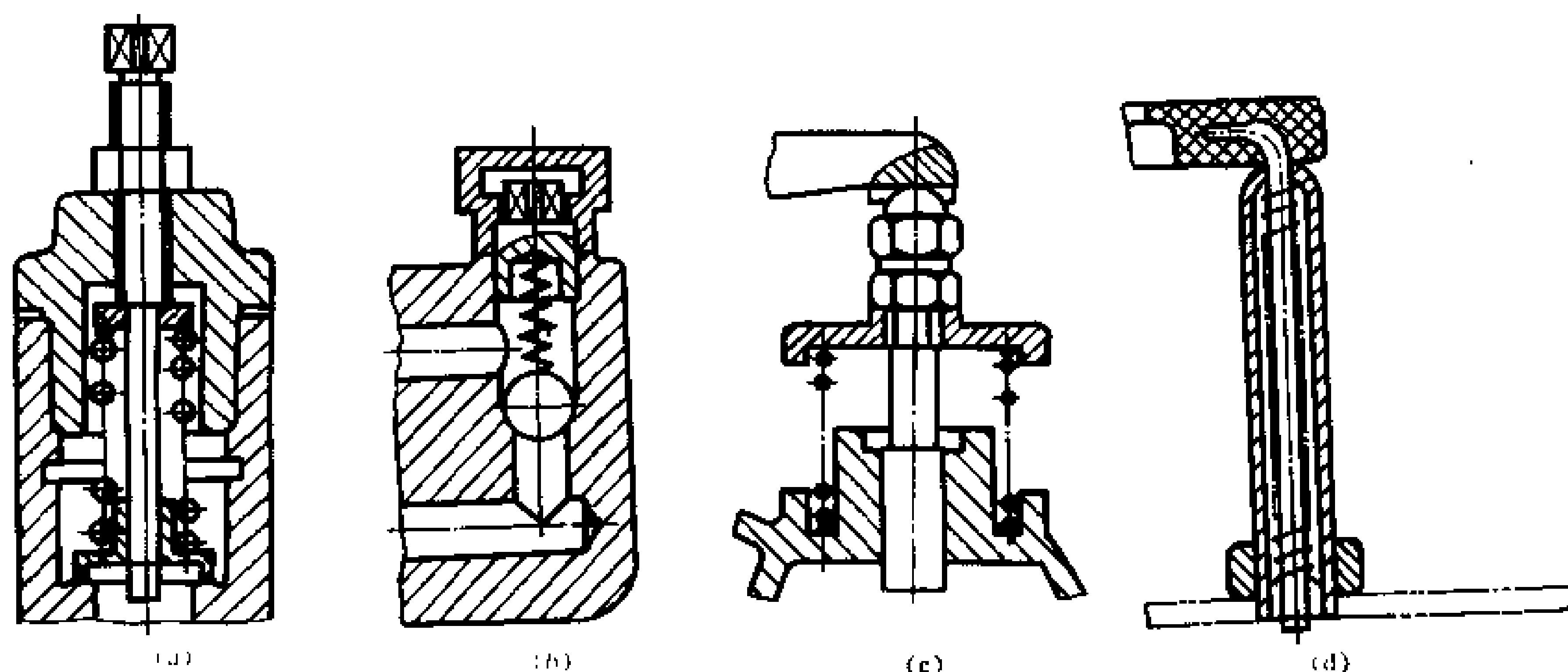


图 8-45(b) 装配图中弹簧的画法

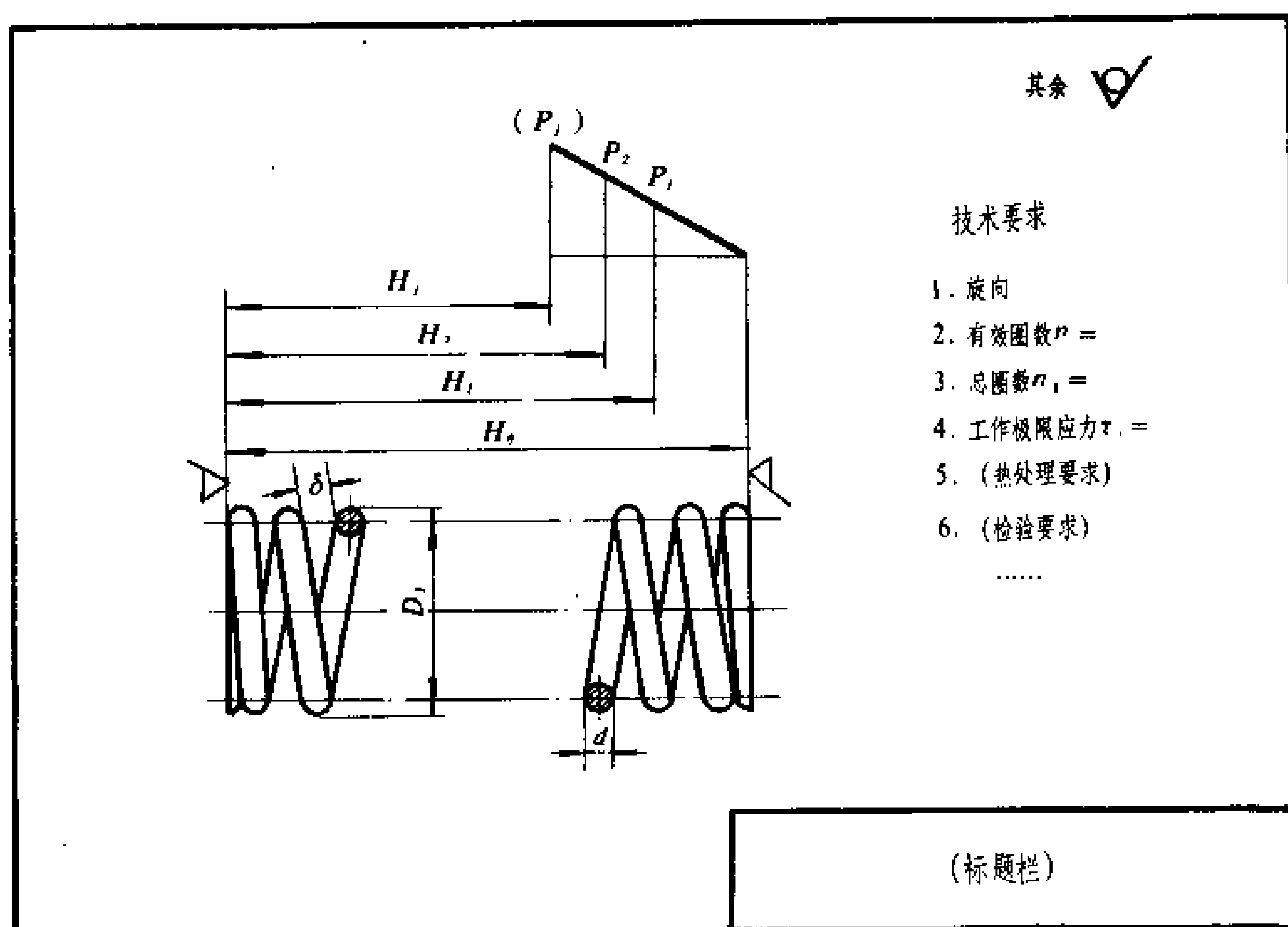


图 8-46 螺旋压缩弹簧零件图格式

8.5.3 **螺旋弹簧的标记**

|弹簧名称| |簧丝直径 d| × |弹簧中径 D_2| × |自由高度 H_0| |标准号|

标记示例：压簧 1.6 × 12 × 70 GB2089 — 80 表示簧丝直径为 1.6mm，弹簧中径为 12mm，自由高度为 70mm 的右旋压缩弹簧。

8.6 滚动轴承

轴承是用来支承旋转轴的部件，可分为滑动轴承和滚动轴承两种。由于滚动轴承结构紧

凑，摩擦阻力小，维护方便，又是由专业工厂大量生产的标准件，所以在仪器、电机、机床等机器设备中广泛应用。例如在图 8-1 齿轮减速器中，就使用了四只滚动轴承。

8.6.1 滚动轴承结构及其分类

滚动轴承的种类很多，但其结构大致相似，如图 8-47。

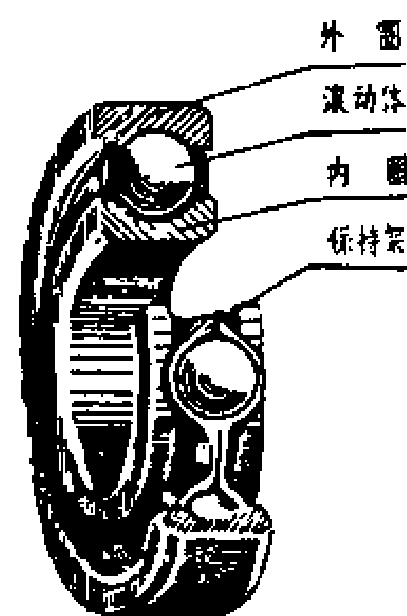


图 8-47 滚动轴承结构

外圈 —— 一般固定在机座上，外表面与机座配合，内表面制有滚道。

内圈 —— 它的内孔与支承的轴颈紧紧配合，外表面制有滚道与外圈内表面的滚道相对应，使滚动体可在此滚道内滚动。

滚动体 —— 有球、滚子等，放在内、外圈之间，当内圈转动时，它在滚道内滚动。

保持架 —— 用来隔离滚动体，并引导滚动体及将滚动体保持在轴承内。

滚动轴承按其所承受负荷的方向不同，分为：

(1) 向心轴承 —— 主要用于承受径向负荷的滚动轴承。

(2) 推力轴承 —— 主要用于承受轴向负荷的滚动轴承。

滚动轴承按其滚动体的种类，分为：

(1) 球轴承 —— 滚动体为球的滚动轴承。

(2) 滚子轴承 —— 滚动体为滚子的滚动轴承。

8.6.2 滚动轴承的画法

滚动轴承是标准件，根据要求选用，一般不需要画出它各组成部分的零件图。只在装配图中根据几个主要外形尺寸，例如外径 D，内径 d、宽度 B(根据代号查有关标准得到)，用剖视图表达，轮廓内可用简化画法或示意画法绘制，如图 8-48 所示。

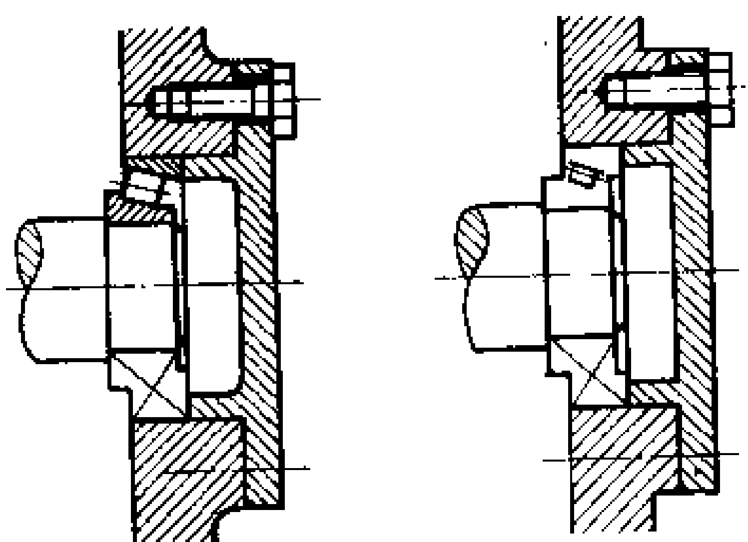

图 8-48 滚动轴承在装配图中表达方法

表 8-9 表示三种常用滚动轴承的结构型式、简化画法、示意画法及其尺寸比例。

8.6.3 滚动轴承的代号

滚动轴承是标准件，《滚动轴承 代号方法》(GB272 — 88) 规定了它的代号表示方法。基本代号用七位数字表示。在标注时，当最左边为“0”，规定省略不写，常用的是后面四位数字。从右数起：

第一、二位数字表示轴承内径，代号数字为 04 ～ 99 时，乘 5 即为轴承的内径。代号为 00、01、02、03 分别表示内径为 10、12、15、17mm。第三位数字表示轴承直径系列，即在内径相同时，有各种不同的外径尺寸。如代号数字 1、7 为特轻系数，2 为轻窄系列，3 为中窄系列，4 为重窄系列等。

第四位数字表示轴承类型。如代号数字为 0 表示深沟球轴承，1 表示调心球轴承，2 表示圆柱滚子轴承，3 表示调心轴承，……，6 表示角接触球轴承，7 表示圆锥滚子轴承，8 表示推力球轴承等。

滚动轴承标记示例

滚动轴承 206 GB276 — 89

表示内径为 30mm，直径系列为轻窄系列的深沟球轴承。

滚动轴承 8105 GB301 — 84

表示内径为 25mm，直径系列为特轻系列的平底推力球轴承。

表 8-9 常用滚动轴承型式和画法

轴承类型	结构型式	简化画法	示意画法
深沟球轴承 (GB276 — 89) 0000 型			
圆锥滚子轴承 (GB297 — 84) 7000 型			
平底推力球轴承 (GB301 — 84) 8000 型			

思 考 问 题

8.1 螺纹的基本要素有哪几项？

8.2 内、外螺纹旋合连接的条件是什么？

8.3 试说明 $M20-6H$、$M20\times1.5-5g6g$、$Tr40\times14(P7)LH-7H$、$G3/8$ 的代号含义。

8.4 非螺纹密封管螺纹在标注上有何特点？

8.5 常用的螺纹紧固件有哪几种？

8.6 螺栓、螺柱、螺钉的公称长度 l 是指哪一部分的长度？它是怎样确定的？

8.7　试述下列螺纹紧固件的标记含义？

螺栓　GB5782 — 86　$M20 \times 60$

螺母　GB6176 — 87　$M12$

螺柱　GB897 — 88　$M12 \times 50$

8.8　试说明各种键的标记含义。

8.9　常用的销有哪几种?试列举它们的标准代号。

8.10　已知一标准直齿圆柱齿轮的模数为 m，齿数为 z，试写出计算分度圆直径 d，齿顶圆直径 d_a，齿根圆直径 d_f 的公式。

8.11　一对标准圆柱齿轮能够啮合的基本条件是什么?

8.12　圆柱齿轮的轮齿有哪些规定画法(外形图，剖视图)。

8.13　试述螺旋压缩弹簧有哪些规定画法。

8.14　在装配图中，弹簧有哪些简化画法。

8.15　滚动轴承的轮廓内可用简化画法或示意画法，两者有何区别。

8.16　试述"滚动轴承 7205　GB297 — 84"的含义。

第 9 章　零件图

内容提要　本章介绍零件图的作用与内容，各类零件的视图表达，尺寸注法，公差配合，形状和位置公差，表面粗糙度的基本知识和标注方法，零件的结构工艺知识，以及画、看零件图的方法和步骤。

9.1　零件图的作用和内容 显示 零件结构

零件图是表示零件结构、大小及技术要求的图样。它也是制造、检验零件的依据。图 9-1 是柱塞泵的凸轮零件图。由图可知，它包括如下内容：

(1) 视图 —— 用一组视图完整、清晰地反映出零件各部分的结构形状。

(2) 尺寸 —— 标注出制造和检验零件所必需的全部尺寸。

(3) 技术要求 —— 注出生产零件所必需的技术要求，如尺寸公差、形位公差、表面粗糙度、热处理等。

(4) 标题栏 —— 写出零件的名称、数量、材料、图号及绘图比例等。

以上内容将在下面分别介绍，关于材料和热处理等内容，可参阅本书附录或有关手册。

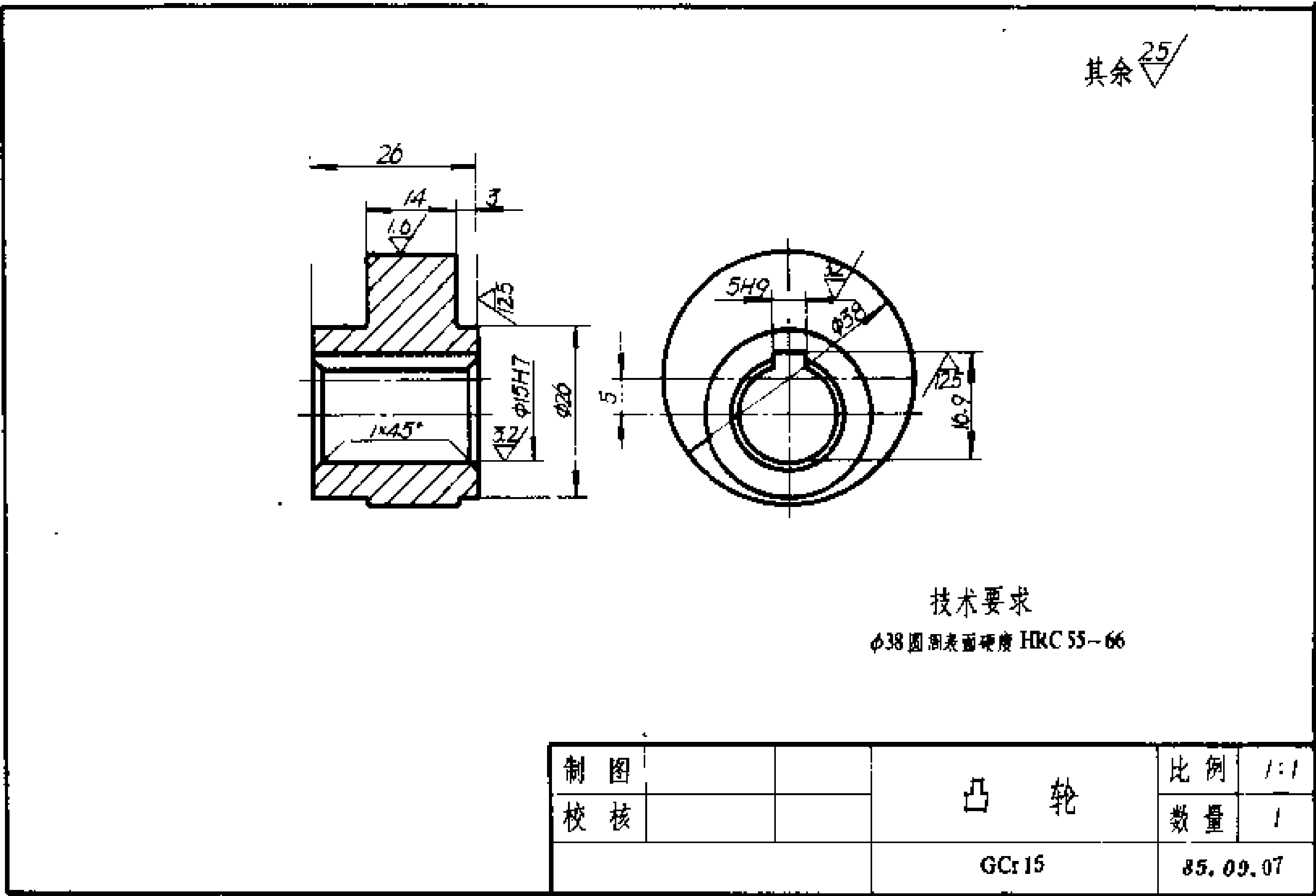


图 9-1　凸轮零件图

9.2 零件图的视图选择 方便看图人制作零件

零件图是生产零件的主要技术文件。视图要画得完整、清晰，符合设计和工艺要求，使看图的人方便易懂，不会产生误解，不然的话，制造就困难，甚至出废品。图 9-2a 为一轴承座的视图，图中的凸台和连接部分的结构形状及尺寸大小都无法确定，且根据该图样可能生产出与图 9-2b 所示的结构形状不同的零件，因此说这是一组不完整的视图。

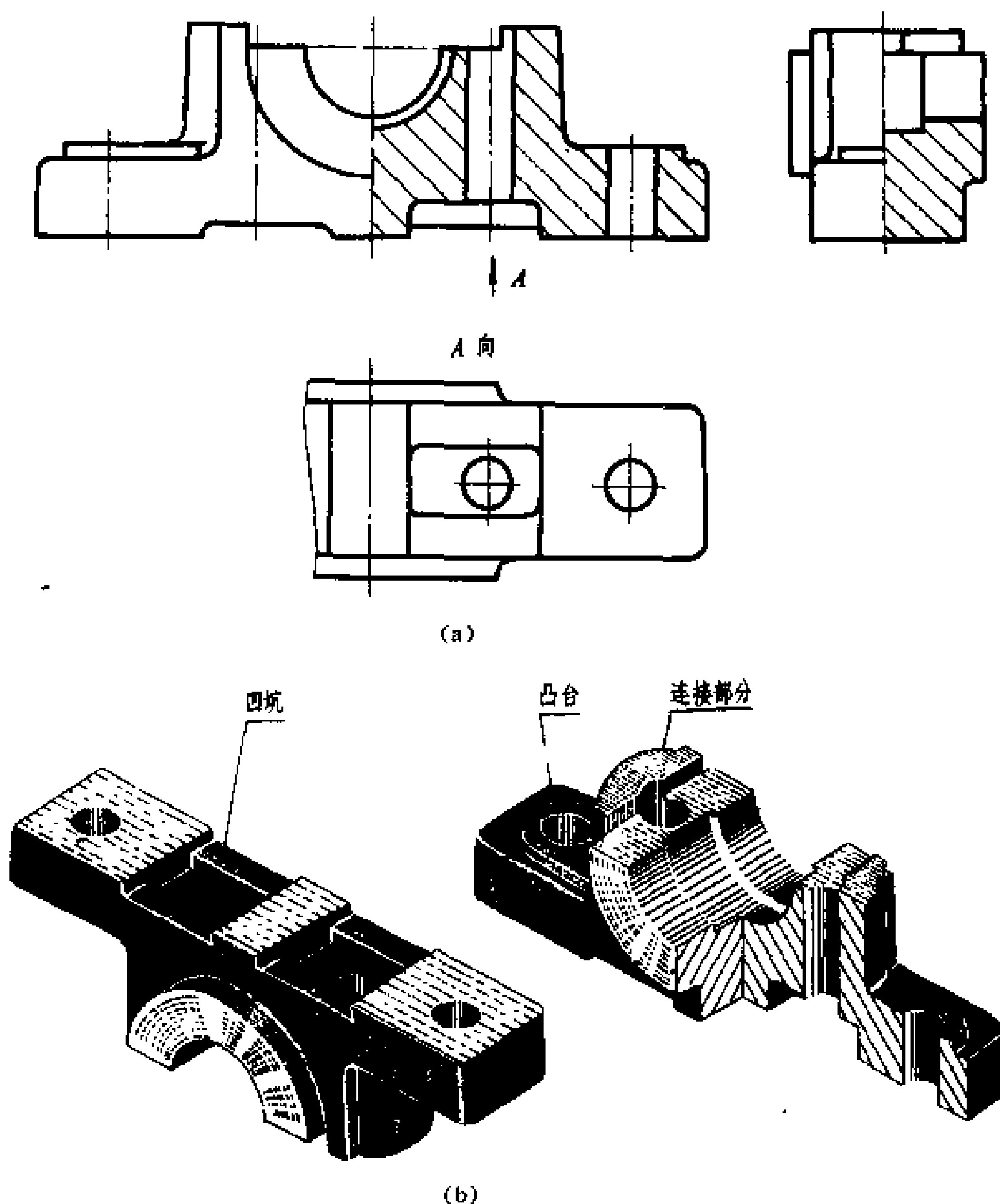


图 9-2 轴承座的视图

9.2.1 视图选择过程

要选择好零件的视图，首先要对零件的作用、原理和结构进行充分的分析。只有了解了零件的特点和生产方法，才能用最恰当的视图将零件的结构完全、清晰地表达出来。

1. 主视图的选择 主视图

看图和画图都从主视图开始，它选择得好坏直接影响整个视图的表达方案。视图选择一般先选择主视图，其选择原则如下：

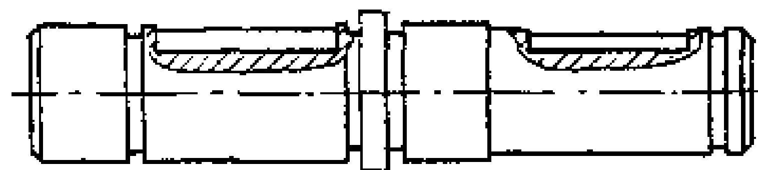


图 9-3 泵轴的主视图选择

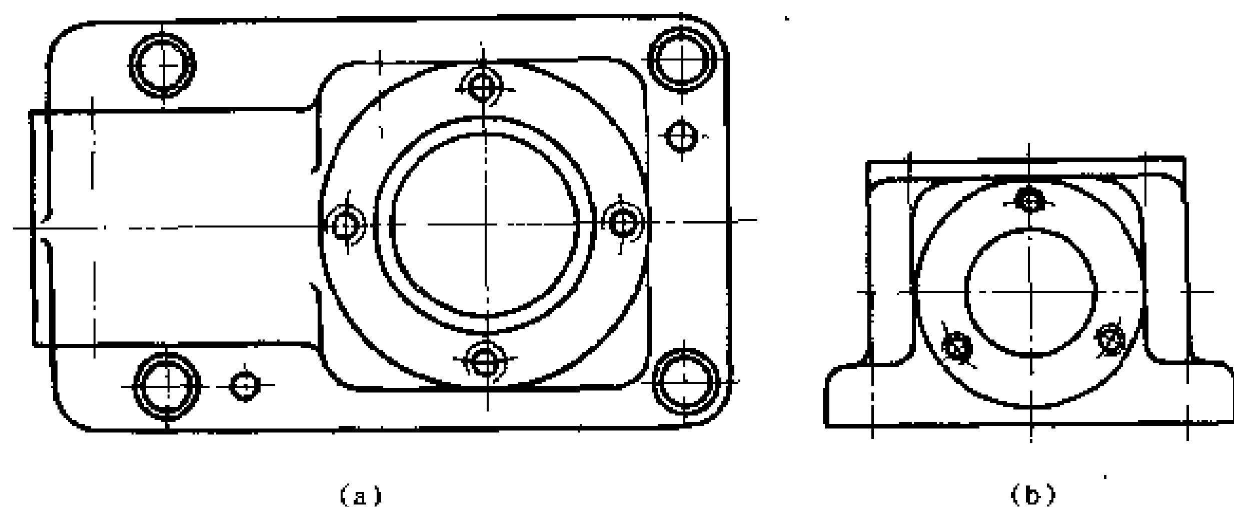
(1) 反映零件的加工位置

选择主视图应力求使它符合制造该零件时的加

工位置，使加工时看图方便，如图 9-3 的泵轴。一般轴、套、轮、盘等零件主要在车床加工，应将轴线水平放置来画主视图。

（2）反映零件的工作位置

主视图应尽可能符合零件在机器中的工作位置。这样有利于了解零件的作用，有利于画图和看图。图 9-4a 是泵体的工作位置，而图 9-4b 不是工作位置。

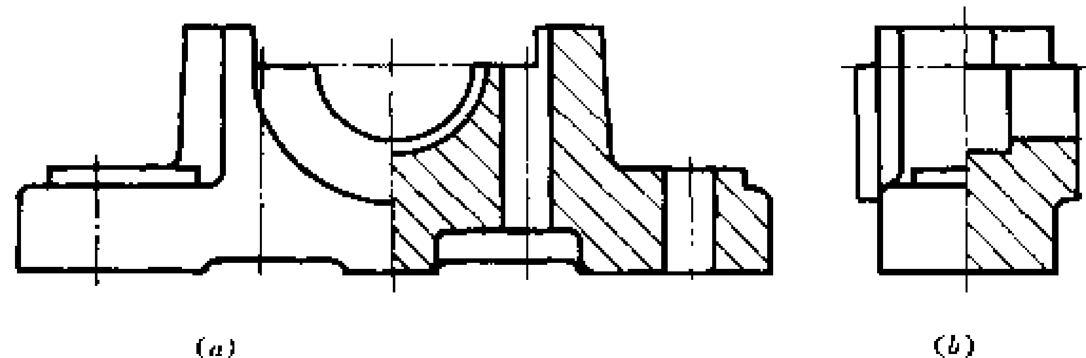


(a)　　(b)

图 9-4　柱塞泵体的主视图选择

（3）反映零件形体结构的特点

选择的主视图要能比较清楚地反映出零件结构特点，即能较清楚地表达出零件主要结构形状和各组成部分间的相对位置。如图 9-5a 所示轴承座，能表达它的结构特点；而图 9-5b 则不能反映它的结构特点。



(a)　　(b)

图 9-5　轴承座的主视图选择

（4）要考虑合理利用图纸幅面

主视图选定后，其他视图位置随之而定。因此，选主视图时还应考虑到视图在图纸上是否布置匀称，有否充分利用图纸幅面。

运用以上原则，有时能较好的结合，有时则相互矛盾，顾此失彼。如有零件在制造时经过多道工序，而不同的工序加工位置就不一样；有些零件是运动的，没有固定的工作位置；有些零件在机器上的不同部位工作位置也不同，因此要对具体情况作具体的分析。总之，主视图的选择要从有利于表达和看图出发。

主视图选择的一般情况是：首先满足结构特点要求，并充分考虑加工位置和工作位置，照顾到合理利用图纸幅面。

2. 其余视图的选择

选好主视图后，还需选用什么视图取决于零件的复杂程度和特点。一般在选好主视图的基础上，考虑还有哪些结构形状没有表达，或者表达得不清楚，再选用适当的视图，把主要部分、次要部分和细节都表达出来。在选择和决定其余视图数量时要注意，视图数量过多，使看图的人感到烦琐；视图数量过少，则零件不能表达清楚，不仅看图吃力，而且制造时易产生废品。因

此，其余视图数量的选择原则是：灵活应用各种表达方法，在保证零件的结构形状表达“完整、清晰”的条件下，尽量地减少视图数量。具体的选择参考下节。

9.2.2　**各类零件的视图选择**

1. 轴、套类零件

各种轴、丝杆、套筒等都属这类零件。它们多数由共轴心线的数段回转体构成，在各段上根据设计和加工要求还有螺纹、销孔、键槽、退刀槽、倒角、中心孔等。它们的毛坯多系棒料或锻件，机械加工以车削为主，还可能经过铣、钻、磨等工序。这类零件通常按加工位置选择主视图，配合适当的剖视、剖面和局部放大图，基本视图一般较少。

图 9-6 是柱塞泵泵轴的零件图。主视图按加工位置画，键槽深度用剖面表示，退刀槽和越程槽用局部放大图清晰地表示出来。

图 9-7 是泵套的零件图。主视图按加工位置画，并用全剖视将泵套的主要结构清楚地表达出来。左视图主要为了表示三个沉孔的位置。剖面是表达 $\phi8$ 通油孔。

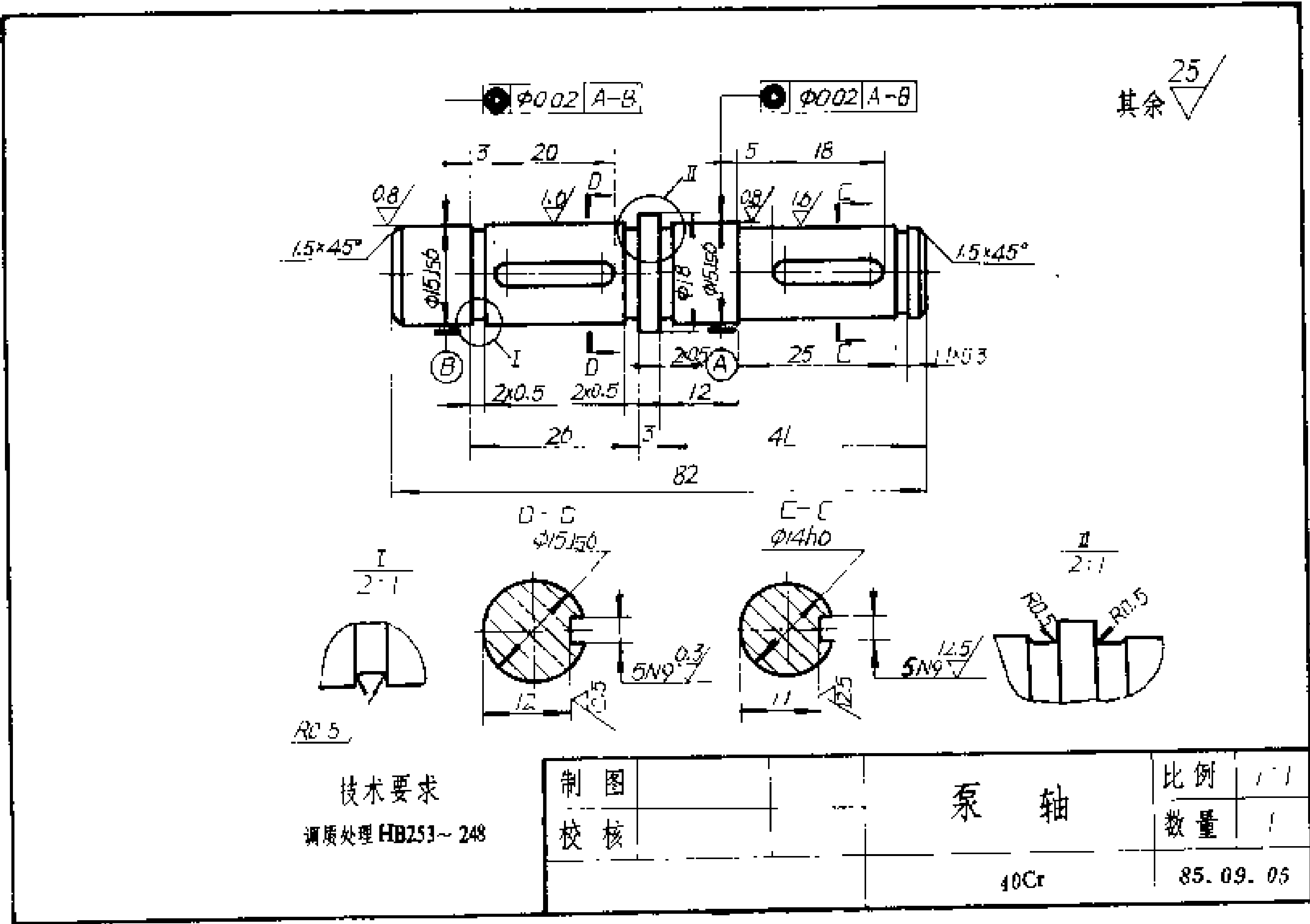


图 9-6　泵轴零件图

2. 轮、盖类零件

这类零件包括各种轮子、法兰盘和圆盖等。它们的主体部分是回转体，常有轮幅、肋、孔、键槽等结构。毛坯有铸件，也有锻件，机械加工以车削为主。主视图一般按加工位置放，但有些较复杂的盘盖，因工序较多，主视图也可按工作位置画。视图数量的多少要根据零件的复杂程度来决定，常采用剖视、剖面、局部剖视和简化画法。

图 9-8 是轴承衬盖的零件图，主视图按加工位置，并用全剖视。主视图已将衬盖的结构形状基本上表达出来，画左视图的目的主要是为了表示四个沉孔的分布位置，以及避免在主视图上标注尺寸过分拥挤。

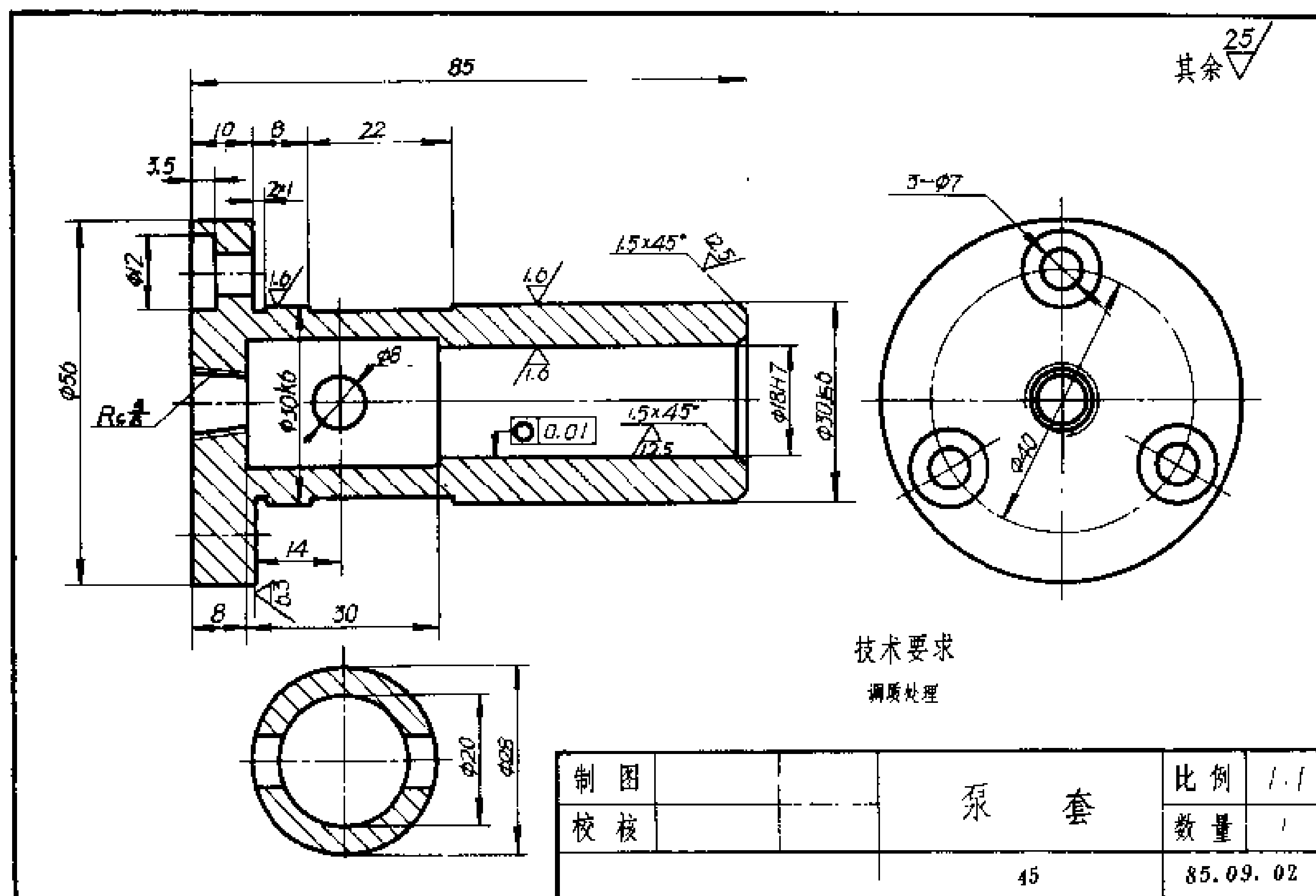


图 9-7　泵套零件图

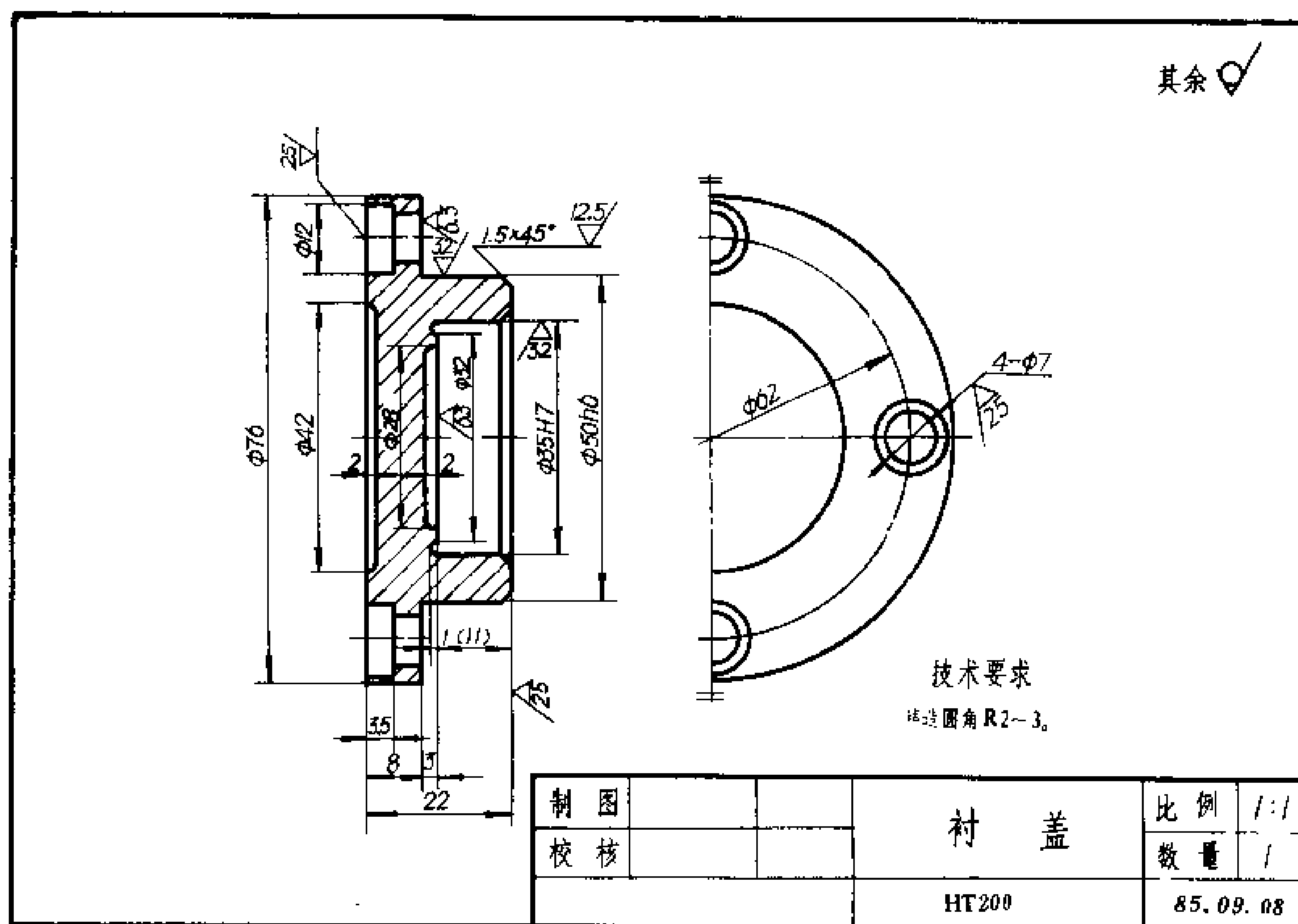


图 9-8　衬盖零件图

3. 叉、架类零件

这类零件包括各种杠杆、连杆、支架、拨叉等。它们的结构形状是多种多样的，机械加工的工序也各不相同，选择主视图主要考虑零件的结构特征和工作位置。除了基本视图外，较多应用剖面、局部视图、斜视图等。

图 9-9 是某机器的刹车支架，图 9-10 是它的零件图。主视图采用工作位置。主视图与俯视图上用局部剖视表达孔的情况；肋的形状采用一个重合剖面和一个移出剖面表示，倾斜 45° 的凸台形状用局部视图表达，另一凸台用局部视图表示。

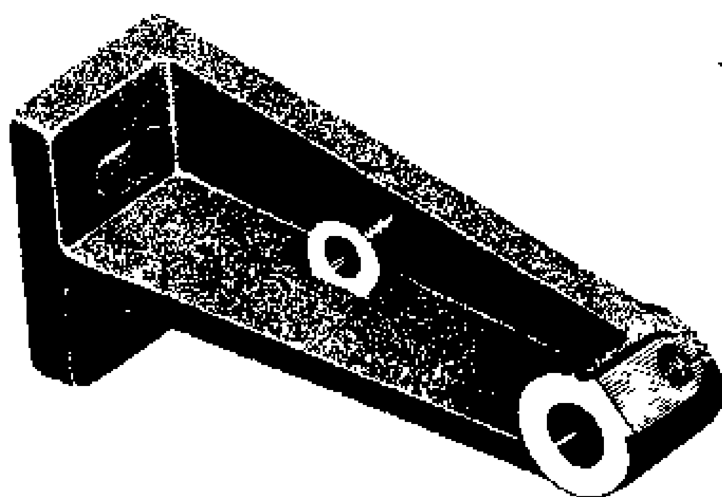


图 9-9 刹车支架

4. 箱体类零件

机器或部件的外壳、机座、主体等均属此类零件。由

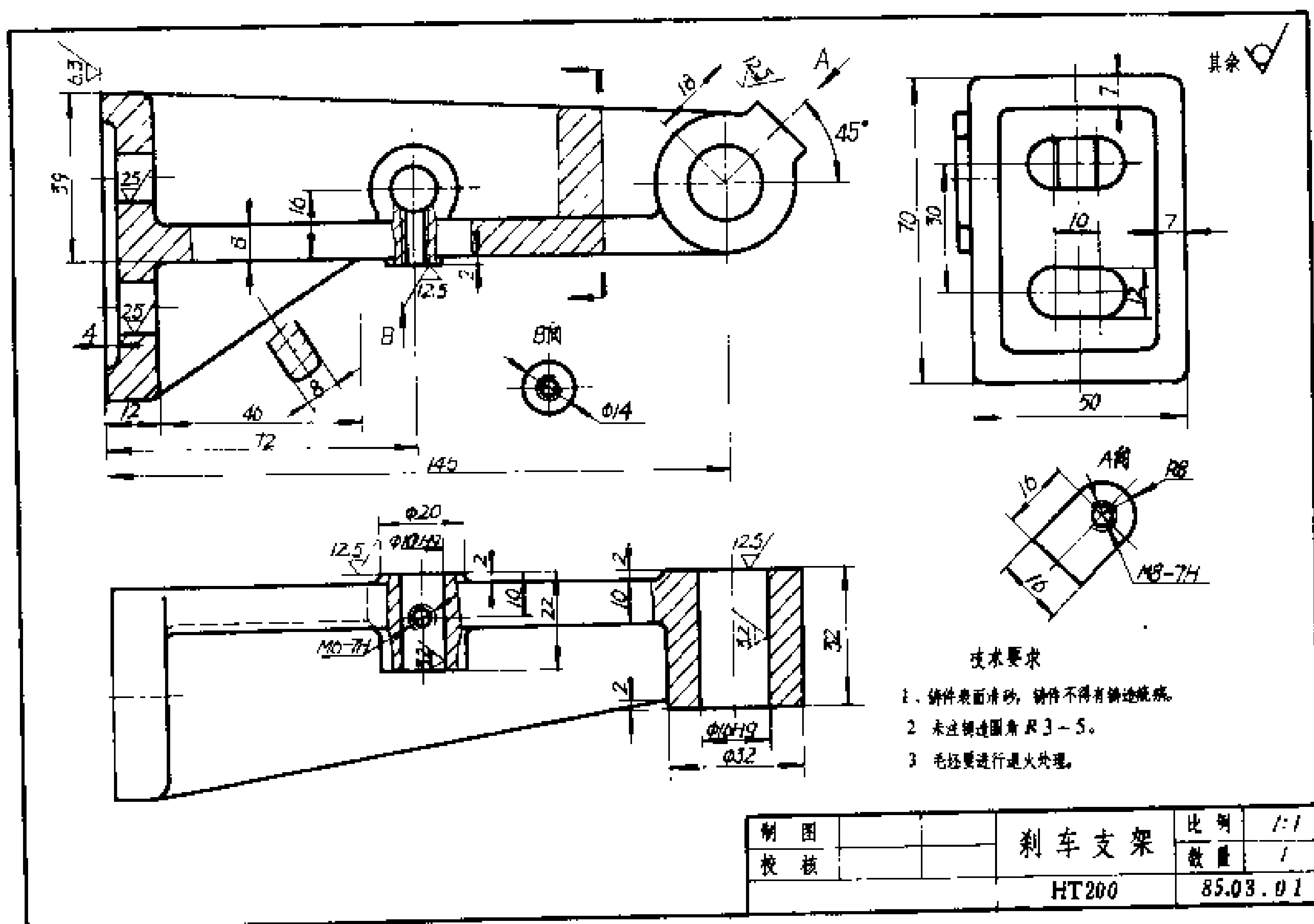


图 9-10 刹车支架零件图

于这类零件需要承装其他零件，因而常有空腔、轴孔、内外承壁、肋、凸台、沉孔、螺孔等结构，内、外形状一般较为复杂，毛坯多属铸件。箱体类零件的机械加工工序比较多，往往需要经过刨、铣、镗、磨、钻、钳等工序。主视图选择一般考虑工作位置和显示形状特征。基本视图较多，广泛地应用各种表达方法。

图 9-11 是柱塞泵泵体的立体图，图 9-12 是它的零件图，其主视图为工作位置，由于泵体的主视图上、下基本对称，故采用了半剖视表达内、外形状；俯视图用局部剖视，保留单向阀或泵体连接处的部分外形结构；左视图和后视图凸台分别表达外形结构和泵体安装接触面的形状；$A-A$ 剖视主要表示体内一凸台的形状，凸台凸出部分的大小在俯视图上用虚线表达出来。

5. 薄板类零件

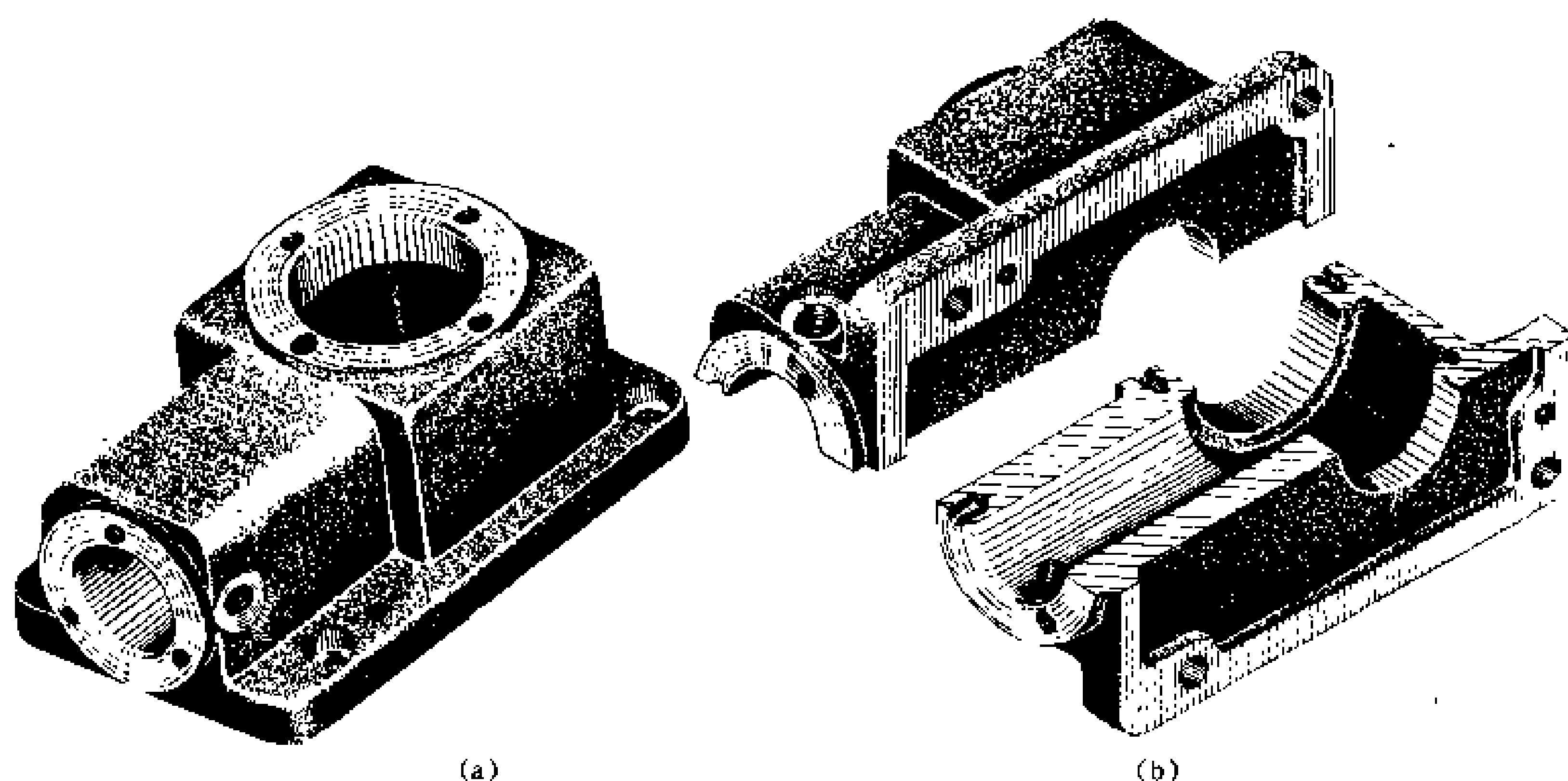


图 9-11　柱塞泵体

常见的这类零件有各种薄板罩壳、安装板、各种薄板冲压零件等，是用冲床或由钣金工生产的。有许多零件根据生产需要以及便于看图，要画出它的展开图。展开图就是把弯曲成形的薄板零件展开在一个平面上，即零件未弯曲之前的形状。展开图画法可参阅第 11 章。

图 9-13 是一电子仪器的安装板零件图，基本视图有主视图和左视图。主视图按工作位置放。主视图下面是展开图。展开图上用细实线表示要弯曲的地方。展开图中有几种相同的孔，用标记的方法来注写尺寸，标记尺寸见图中的表格。7 个螺孔未注出定位尺寸，因为它是在安装板与其他零件装配后一起加工的。

9.3　零件图的尺寸注法

在第 6 章，我们已经讨论了如何在图样上准确、完整、清晰地标注尺寸的问题。本节将说明怎样在零件图上合理地标注尺寸。

在零件图上要使尺寸标注合理，应满足下列要求：

根据零件结构与性能上的要求，尺寸可分为功能尺寸与非功能尺寸。功能尺寸又称重要尺寸，它对保证机件的工作性能、装配精度及互换性起着重要的作用。

功能尺寸是重要尺寸的别名
要直接标图纸上

功能尺寸要求直接标注在图纸上，这样才能保证原来的性能要求。

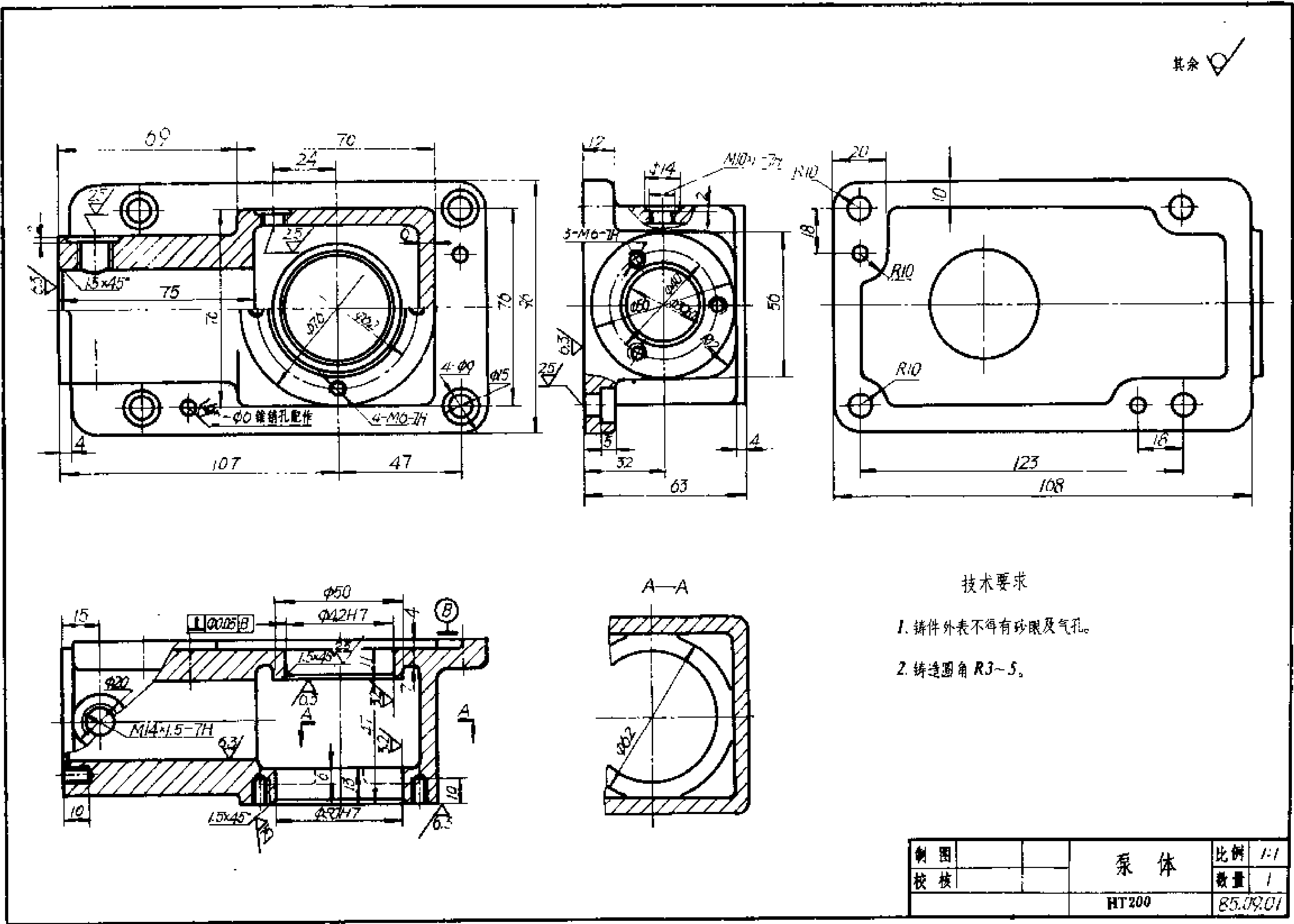
非功能尺寸是为了满足零件加工与检验的要求，因此所注尺寸要便于加工与检验。

标准要素尺寸的数值应当尽量采用标准尺寸，如钻孔、退刀槽、销孔、键槽等。

9.3.1　尺寸基准

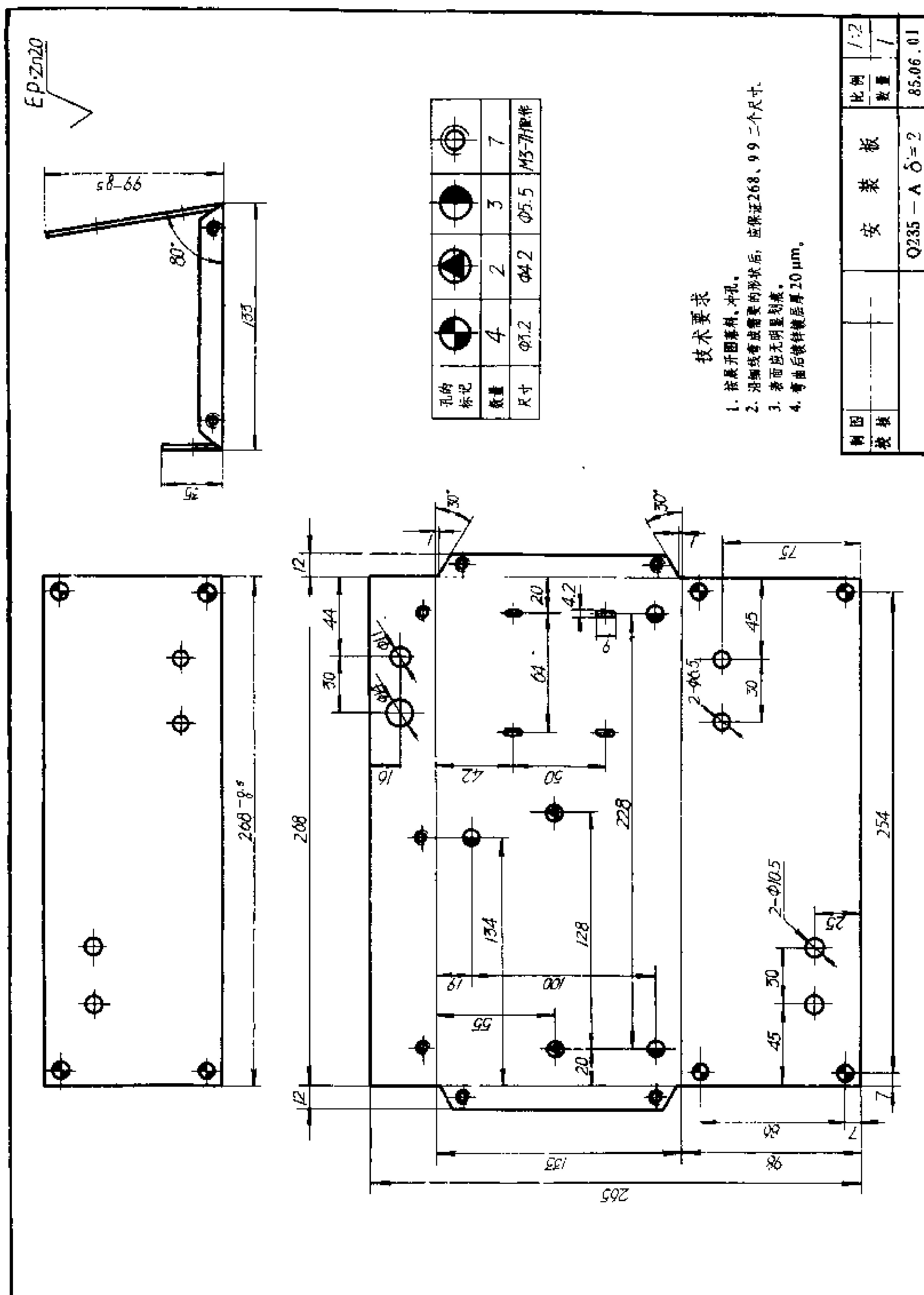
图 9-14 所示轴承座，其轴孔 $\phi40$ 轴心线高度尺寸应从哪里注起，应该注尺寸 a，还是注尺寸 b 或 c，这就涉及到标注尺寸的起点　　尺寸基准问题。

怎样选择标注尺寸的基准，分析一下轴承座高度方向的尺寸就可以知道了。孔 $\phi40$ 中心线高度尺寸在设计上是从安装底面算起的，尺寸 a 是轴承座的功能尺寸，若注尺寸 b 或尺寸 c 是不能反映零件的性能要求。同时在加工 $\phi40$ 孔时，底面是加工安装基准面，测量时它也是测量基准面，所以应注尺寸 a(50 [illegible]) 其他高度尺寸如 20，12，2，根据设计和工艺要求也都以底面为基准。由此可见，尺寸基准实际上就是确定某零件与其他零件在机器中相对位置的出发点(设



其余
技术要求
1.铸件外表不得有砂眼及气孔。
2.铸造圆角R3~5。
泵体
HT200
比例 1:1
数量 1
85.09.01
制图
校核
A—A

图 9-12　泵体零件图



Ep·Zn20
技术要求
1. 按展开图落料，冲孔。
2. 沿细线弯成需要的形状后，应保证268，99二个尺寸。
3. 表面应无明显划痕。
4. 弯曲后镀锌镀层厚20 μm。
孔的标记
数量 4 2 3 7
尺寸 Φ3.2 Φ4.2 Φ5.5 M3-7H
安装板
Q235－A δ=2
比例 1:2
数量 1
85.06.01
制图
校核
265
135
96
254
268
228
134
128

图 9-13　安装板零件图

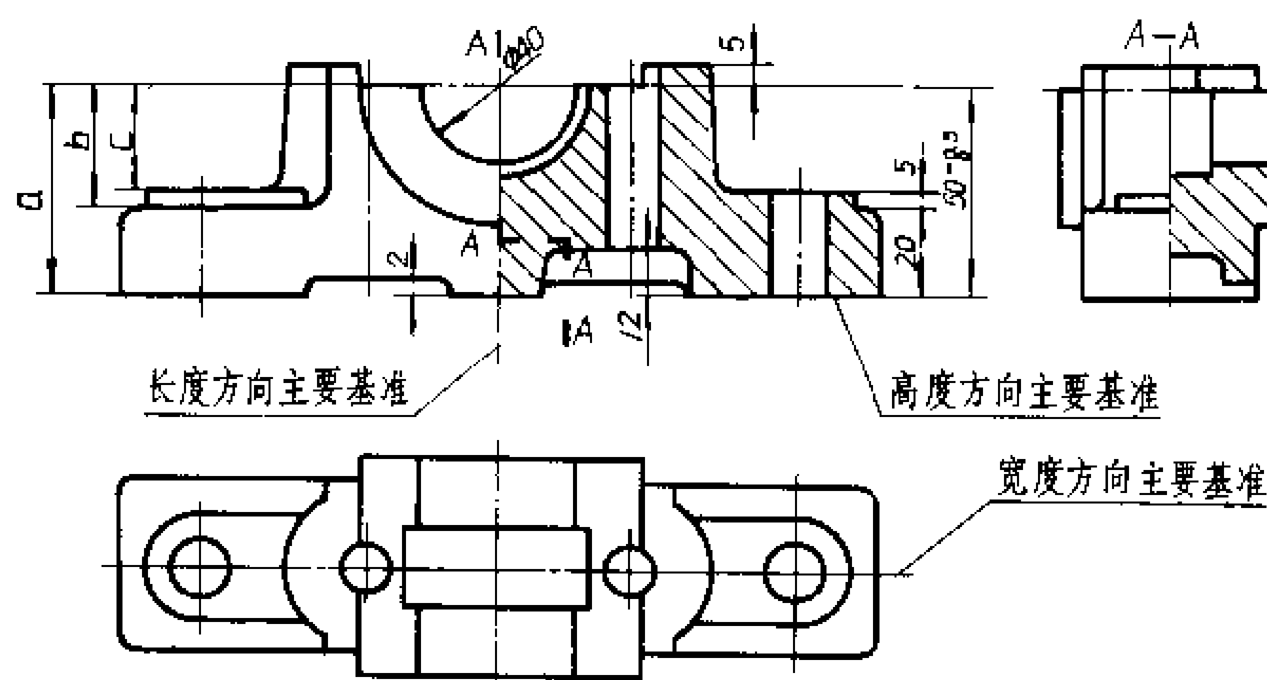


图 9-14　尺寸基准的选择

计基准)；或零件在加工、测量时确定尺寸的出发点(工艺基准)。零件的设计基准和工艺基准有时并不统一，在这种情况下，标注尺寸应选用设计基准作为尺寸基准。

零件一般有长、宽、高三个方向的尺寸，因此每个方向有一个标注尺寸的起点，称为主要基准。轴承座高度方向的主要基准是底面，其余两个方向的主要尺寸基准都是对称面，如图 9-14。一般除了每个方向有一个主要基准外，还得增加一些辅助基准，用以间接确定零件上某些部分的定位尺寸和定形尺寸。

图 9-15 是泵轴的组装图。轴在装配体中的轴向定位面是 *B* 面，可作为长度方向的主要尺寸基准。泵轴长度方向尺寸大部分都是非功能尺寸，所以可以从方便加工检验来考虑标注尺寸。图 9-16 是泵轴车加工尺寸标注图。直径方向主要尺寸基准是轴线。长度方向的尺寸基准是 *B* 面，尺寸 25 直接注出，而尺寸 29 从加工和测量方便考虑，分别注为 26 和 3，如图 9-15b。

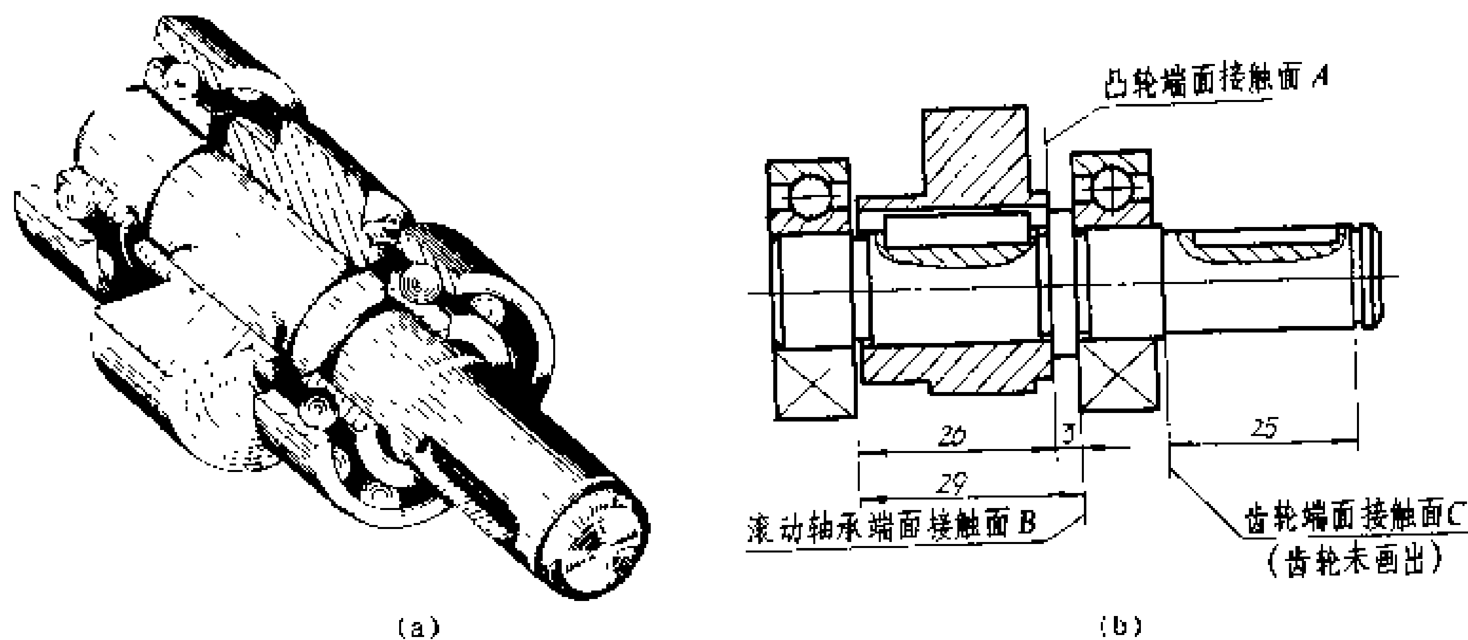


图 9-15　泵轴的组装图

表 9-1 表示了该轴在车床上的加工过程，可看出这些尺寸在加工中的作用及测量是否方便。

图 9-17 是泵体长度与宽度方向主要尺寸的简图。长度方向的主要基准是 *A* 面，辅助基准是 *B* 面。宽度方向的主要基准是 Ⅰ 面，辅助基准是 Ⅱ 面。完整的尺寸标注见图 9-12。

9.3.2　尺寸标注要合理

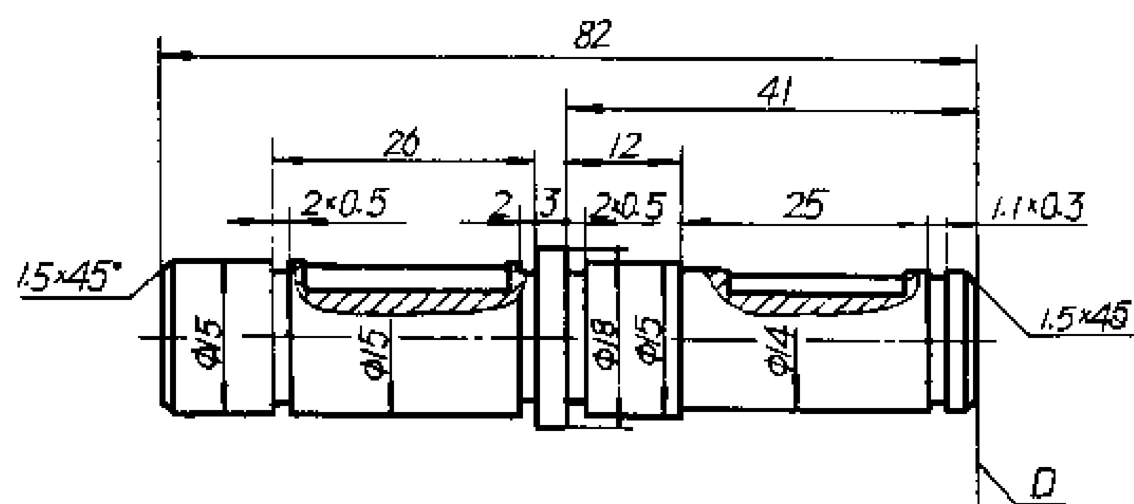


图 9-16 泵轴车加工尺寸标注图

表 9-1 泵轴车加工过程及其尺寸标注

加工程序	加工简图	加工尺寸
车外圆 下料		Φ18 82
车外圆		Φ15 41
车外圆		Φ14 12
切槽 倒角		2×0.5 1.1×0.3 25 1.5×45°
调头 车外圆		Φ15 3
切槽 倒角		2×0.5 26 1.5×45°

一般地讲,零件上的尺寸不能标注成封闭式。图 9-18 是衬盖注有部分轴向尺寸的简图。衬盖上的 A 面是与泵体接触的表面,B 面是与泵轴上滚动轴承端面接触的表面。A、B 两面的相对

位置尺寸 3 是功能尺寸，它影响到泵轴在轴向会不会卡住，所以要直接注出，它虽然给加工测量带来困难。但为了保证功能要求还应该这样标注。尺寸 22，8，3 和 11 就不能同时都注出，因生产中这四个尺寸加工都有误差，保证都加工得准确是不经济的，一般空出最次要的尺寸不注，把积累的尺寸误差全放在这一段尺寸上。该零件上尺寸 11，尺寸 8 都要求较低，因此 C 面选为轴向尺寸的辅助基准，所以注出尺寸 8，尺寸 11 就不必再注，不然就注成封闭式。但是为了加工方便，可将尺寸 11 注出，但须加上括号，作为参考尺寸。

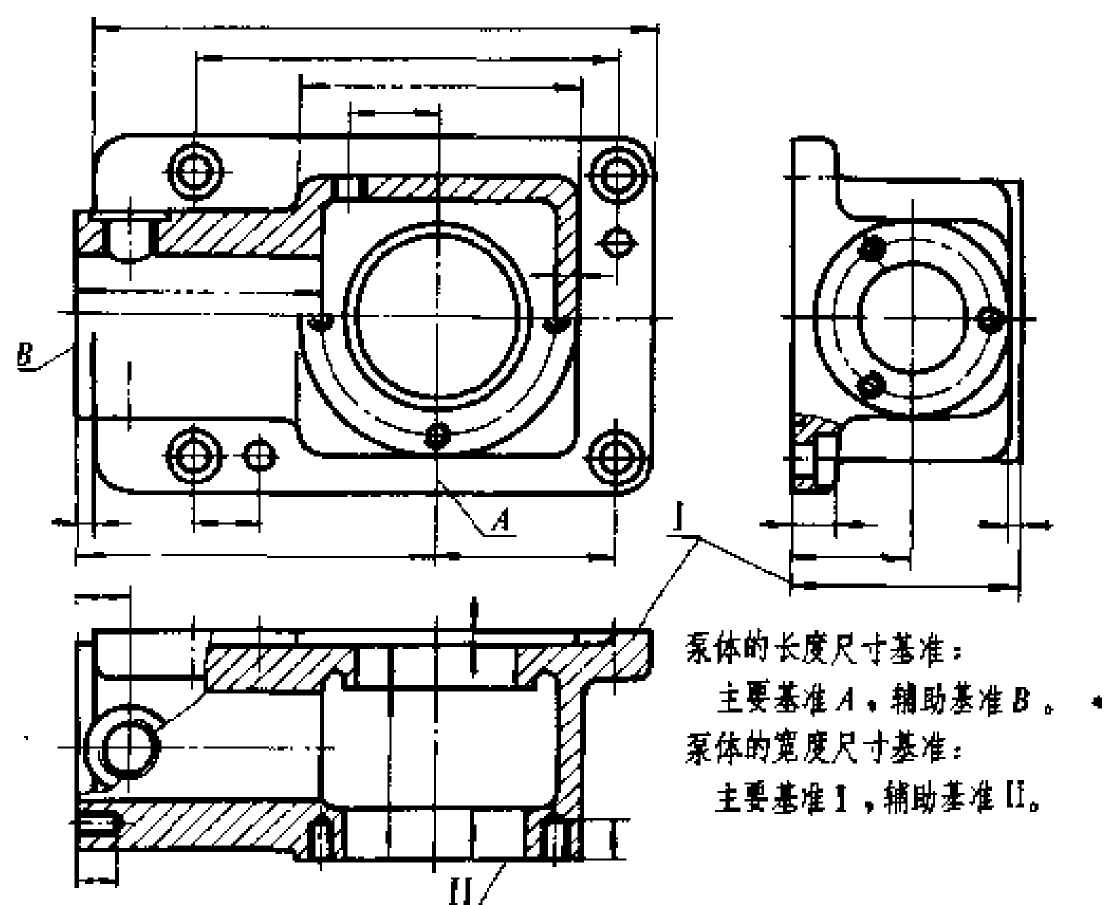


图 9-17　柱塞泵体长度和宽度方向主要尺寸简图

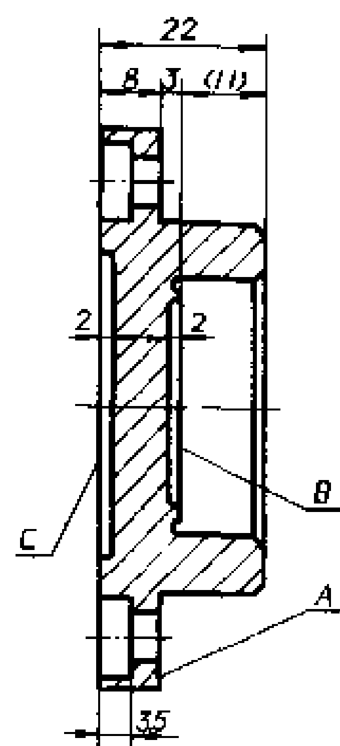


图 9-18　衬盖部分轴向尺寸的简图

9.3.3　尺寸要选用标准数值

尺寸选用标准数值有利于采用标准刀具，减少专用量具的数量，降低制造零件的成本，提高劳动生产率。

直径与长度尺寸尽量采用标准尺寸(GB2822 — 81)。

键槽的剖面尺寸按 GB1095 — 79 选定。

圆柱销与圆锥销孔的尺寸应按圆柱销(GB119 — 86)、圆锥销(GB117 — 86)的尺寸选定。

9.3.4　尺寸简化注法

为了使视图清晰，在国家标准《机械制图》GB4458.4 — 84 中，还规定了尺寸简化注法，现归纳如表 9-2。这些简化标注可减少尺寸界线、尺寸线，注写简便。

9.3.5　尺寸标注小结

通过以上分析可知，零件图上合理标注尺寸应注意的问题是：

(1) 从设计和加工的要求出发，恰当地选择尺寸基准。

(2) 功能尺寸在图上应当直接标注出来，予以保证。

(3) 对切削加工部分非功能尺寸的标注，应尽量符合加工要求和测量方便。对于不经切削加工的非功能尺寸，基本上按形体分析法来标注。

(4) 标注尺寸的数值，要尽量选用标准数值。

(5) 尺寸不应注成封闭式。如果在生产中有必要注出封闭的一段尺寸时，应该加上括号，作为参考尺寸。

(6) 为了使图形清晰，可采用尺寸简化注法。

表 9-2　尺寸简化注法

图　例	说　明
	在同一图形中具有几种尺寸数值相近而又重复的要素(如孔等),可采用标记(如涂色等)的方法来区别。
	轴与孔上的 45° 倒角尺寸,可按图 a 标注,尺寸中的 2 即为倒角的深度。非 45° 倒角可按图 b 标注。 槽的尺寸可按图 c、d 标注。图 c 所注的是"槽宽 × 直径";图 d 所注的是"槽宽 × 槽深"。
	各种孔(光孔、螺孔、沉孔等)可采用旁注的方法标注,但也可在表示圆的视图上标注。
	在同一图形中,对尺寸相同的孔、槽等结构要素,可仅在一个要素上注出其尺寸和数量。
	均匀分布且直径相同的孔,需要定位者,可按 a、b 标注。 直径相同的孔,其分布和定位情况在图中已明确时,可省略标注其定位尺寸和"均布"两字,如图 c。

9.4　表面粗糙度

在零件图上除了表达零件的视图和尺寸外,还必须在图上用符号或文字指出零件的各项质量要求,表面粗糙度就是其中的一项。

加工后的零件表面，由于切削过程中的刀痕、切屑分离时的塑性变形、机床振动等原因，使被加工表面产生微小的峰谷，这些微小峰谷的高低与间距状况称为表面粗糙度。

零件的表面粗糙度，对机器或仪器的使用性能，如耐磨性、抗腐性、配合性质、疲劳强度等有很大的影响。一般来说，表面粗糙度小的表面可以减少磨损，延长使用寿命，保证轴、孔间的配合的质量。但并不是任何零件的表面都要求粗糙度越小越好，在某些场合下，表面粗糙度太小反而对零件工作不利。这是因为过小的表面粗糙度不利于润滑油的贮存，使机器工作时在工作表面之间形成干摩擦，从而增大摩擦系数。另外，盲目地要求小的粗糙度，使得加工成本提高，因此在设计制图时要合理地选择表面粗糙度的大小。

9.4.1 表面粗糙度符号

图样上表示零件表面粗糙度的符号有三个： 只是说明工艺方法

√ 基本符号，表示表面粗糙度可用任何方法获得。当不加注粗糙度参数值或有关说明(表面镀涂、表面热处理等)时，仅适用于简化标注。 任何方法

基本符号上加一短划，表示表面粗糙度是用去除材料的方法获得，例如车、铣、钻、磨、腐蚀、电火花加工等。它可以单独使用。当不标注粗糙度数值与其他有关要求时，说明该表面只要求去除材料，没有其他要求。“去除材料”方法eg：打磨，腐蚀

基本符号上加一小圈，表示表面粗糙度是用不去除材料的方法获得的，例如铸、锻、冲压变形、粉末冶金等，它也可单独使用。 “非去除材料”eg：压，锻

在上述三个符号的长边上均可加一横线，用于标注有关参数和说明。

小圈表示全部

在上述三个符号上均可加一小圆，表示所有表面具有相同的表面粗糙度要求。

9.4.2 表面粗糙度代号

在表面粗糙度符号上标注表面粗糙度允许值和取样长度值，所组成的代号称为表面粗糙度代号，只有表面粗糙度代号才能确切地表示出零件表面的粗糙度要求。

1. 取样长度和表面粗糙度参数

取样长度是为了限制或减弱表面其他误差(波度)对表面粗糙度测量的影响。在判别表面粗糙度特征时取一段长度，也就是在这一段长度内来确定表面粗糙度的参数值。

表面粗糙度参数是一个复杂的参数，从几何特征来说其峰高与波距是主要特征。图 9-19 表示经过放大后表面的实际轮廓曲线。l 为取样长度，显然，在这一段长度内孤立地测量其某一峰高或波距是不能确切地反映该表面的粗糙度，因此必须综合评定。

综合评定轮廓表面粗糙度的基准就是轮廓的最小二乘中线，也称轮廓中线，如图 9-19 中的直线 m。

所谓轮廓的最小二乘中线 m，就是在取样长度内，实际轮廓曲线上各点到该线的距离的平方 和为最小。用轮廓中线 m 做基准，就能够比较合理的确定评定表面粗糙度的各种参数。常用的参数有轮廓算术平均偏差 R_a 和微观不平度十点高度 R_z。

(1) 轮廓算术平均偏差 R_a，是指在取样长度内被测轮廓上各点至轮廓中线距离绝对值的平均值，如图 9-19。

当轮廓上各点到轮廓中线的距离分别为 $Y_1, Y_2, Y_3, \cdots, Y_i, \cdots, Y_n$ 时，R_a 可近似为

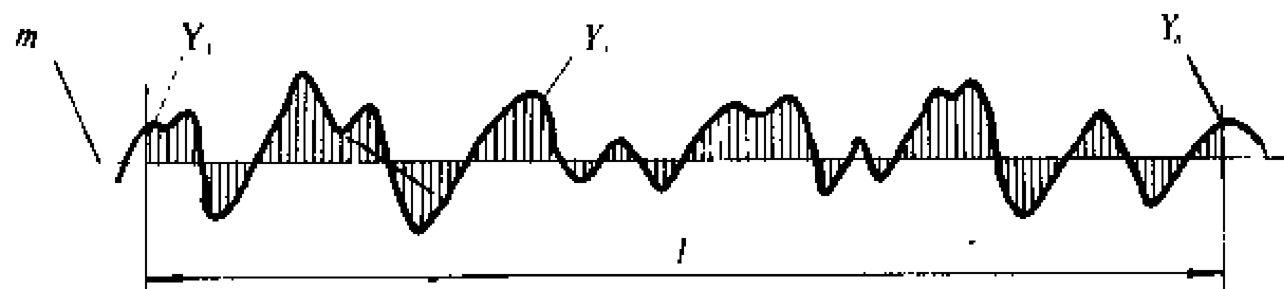


图 9-19　实际轮廓曲线

$$R_a \approx \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|Y_i|$$

(2) 微观不平度十点高度 R_z，是指在取样长度内5个最大轮廓峰高的平均值与5个最大轮廓谷深的平均值之和。

如图 9-20 所示，最大轮廓峰高依次为 $Y_{p1}, Y_{p2}, \cdots, Y_{p5}$，最大的轮廓谷深依次为 $Y_{v1}, Y_{v2}, \cdots, Y_{v5}$，故

$$R_z = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5}Y_{pi} + \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5}Y_{vi}$$

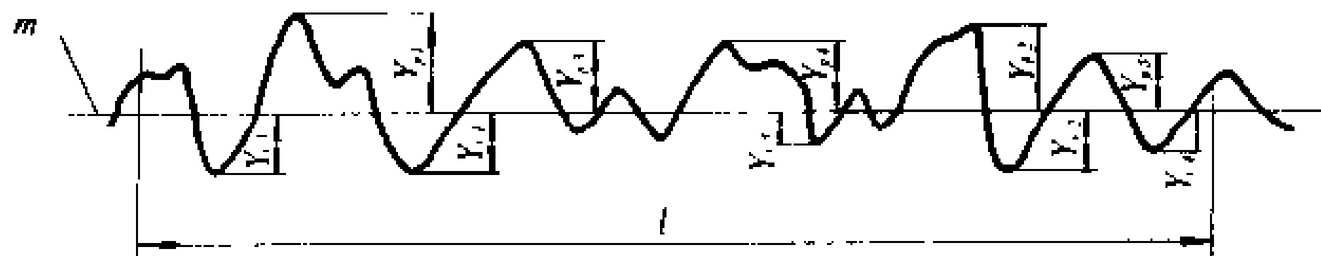


图 9-20　微观不平度十点高度

2. R_a、R_z 参数的系列值与获得的加工方法

按国家标准《表面粗糙度参数及其数值》(GB1031－83)规定，参数 R_a 的数值范围是 0.012 — 100μm；R_z 的数值范围是 0.025 — 1600μm。R_a、R_z 分成两个系列值，即第一系列和第二系列，设计制图时优先选用第一系列，见表 9-3。

表 9-3　R_a、R_z 第一系列值　　单位：μm

R_a	0.012	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	1.6
R_z	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	1.6	3.2
R_a	3.2	6.3	12.5	25	50	100			
R_z	6.3	12.5	25	50	100	200	400	800	1600

常用的各种加工方法能获得的 R_a 值见表 9-4。

3. 参数在粗糙度符号中的标注

参数 R_a 是常用的，符号中只标注数值，不必标出参数符号，例如：

3.2 √ 表示表面粗糙度是用任何方法获得，R_a 的上限值为 3.2μm。

3.2 √ 表示表面粗糙度是用不去除材料方法获得，R_a 的上限值为 3.2μm。

6.3
3.2 √ 表示用去除材料方法获得的表面，R_a 的上限值为 6.3μm，下限值为 3.2μm。

参数 R_z 在符号中不仅要标注数值，还要在参数值前注出相应的参数代号。例如：$\overset{R_z200}{\text{∀}}$ 表示表面粗糙度是用不去除材料方法获得，R_z 的上限值为 200μm。

一般情况下，取样长度值有相应标准规定，图样上可省略标注。当有特殊要求时应给出相应的取样长度值。如：$\overset{3.2}{\bigtriangledown}\!\sqrt{5}$ 表示表面粗糙度用去除材料方法获得，R_a 的上限值为 3.2μm，取样长度 5mm。

表 9-4　各种加工方法所能获得的 R_a 值

加工方法	粗糙度值 Ra(μm) 100–50	50–25	25–12.5	12.5–6.3	6.3–3.2	3.2–1.6	1.6–0.8	0.8–0.4	0.4–0.2	0.2–0.1	0.1–0.05	0.05–0.025	0.025–0.012
砂模铸造		▨	□	▨									
锻造			▨	□	□	▨							
挤压				▨	▨	□	□	▨					
冷轧					▨	□	□	▨	▨				
锯		▨	□	□	□	▨							
刨削		▨	□	□	□	□	□	▨					
钻				▨	□	□	▨						
铣			▨	▨	□	□	□	▨	▨				
铰					▨	□	□	▨					
镗车			▨	▨	□	□	□	□	▨	▨	▨		
磨					▨	▨	□	□	□	□	▨	▨	
珩磨							▨	□	□	□	▨	▨	
抛光								▨	□	□	▨	▨	▨
研磨								▨	□	□	□	▨	▨
超精加工								▨	▨	□	□	▨	▨

注：表内所示的范围是典型的加工方法，在特殊条件下，可以得出较高或较低的数值。

□ 常用操作　　▨ 不常用操作

9.4.3　表面特征代号

粗糙度符号上除标注出粗糙度的参数值与取样长度外，还可注出与其有关的其他要求，以表示表面的特征。在粗糙度符号上注出与表面特征有关的要求称表面特征代号。

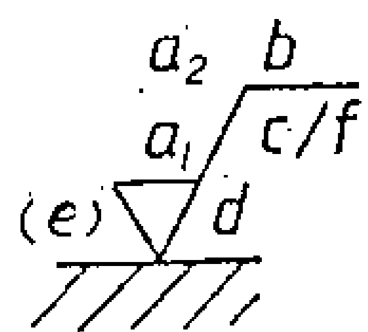


图 9-21　表面特征代号

粗糙度要求与表面特征有关的要求在符号中注写的位置如图 9-21 所示，其中：

a_1、a_2 ---- 粗糙度参数(高度参数 R_a、R_z 等)的允许值；

b ---- 加工要求，镀涂或其他表面处理；

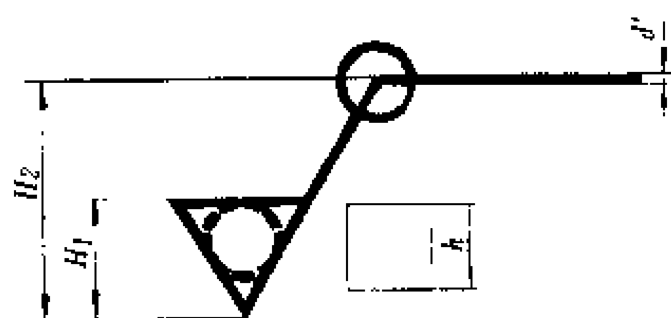
c　取样长度(单位：mm)；

d　加工纹理方向符号；

e—— 加工余量(单位:mm)

f—— 除高度参数外的其他粗糙度参数(间距参数等)。

有关粗糙度符号的画法、线型的粗细、注写字符的高度,如图 9-22 所示。



$d'=(1/10)h$,h 为字体高度

$H_1=10b$,b 为轮廓线宽度

H_2 略大于 $2H_1$

图 9-22　表面粗糙度符号画法

9.4.4　表面粗糙度代号在图样上的标注方法

(1) 表面粗糙度代号应注在可见轮廓线、尺寸界线或它们的延长线上,与这些线接触。当地位狭小或不便标注时,可引出标注,如图 9-23、图 9-24。

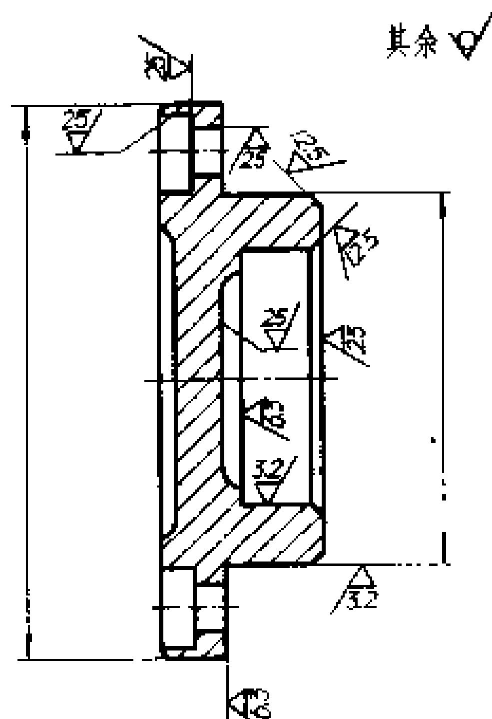


图 9-23　表面粗糙度代号注法

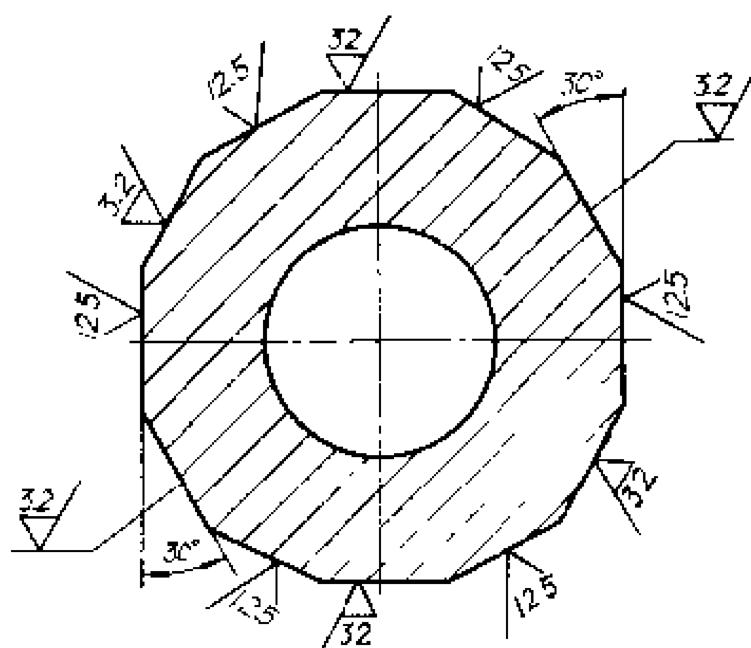
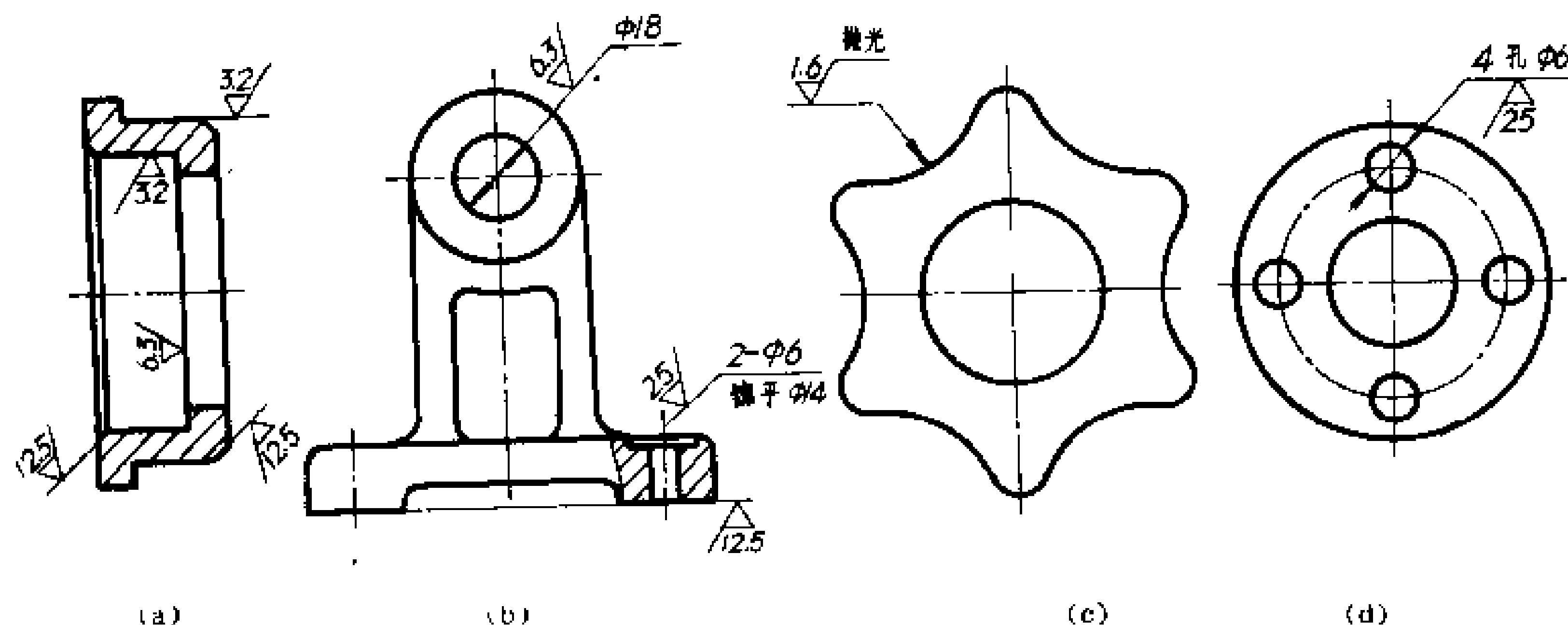


图 9-24　不同方向代号的注写

(2) 粗糙度符号的尖端必须从材料外指向表面,符号在不同方向上注写时,特别要注意符号长边的位置,如图 9-23。表面粗糙度代号中数字及符号填写方向与尺寸数字填写规则相同,如图 9-24。



(a)　(b)　(c)　(d)

图 9-25　每一表面只标注一次粗糙度代号

(3) 在同一图样上,每一表面一般只标注一次粗糙度代(符)号,如图 9-25a。零件上用细实线连接的不连续的同一表面(如图 9-25b),连续表面及重复要素(如孔、槽齿等)的表面(如图 9-25c、d),其表面粗糙度只标注一次。

(4) 同一表面上有不同的表面粗糙度要求时,须用细实线画出其分界线,并注出相应的表面粗糙度代号和尺寸,如图 9-26。

(5) 零件上所有表面具有相同的表面粗糙度要求时，其代(符)号可在图样的右上角统一标注，如图 9-27a 或 b。当零件大部分表面具有相同的表面粗糙度要求时，对其中使用最多的一种代(符)号可统一注在图样的右上角，并加注"其余"两字，如图 9-23 所示。

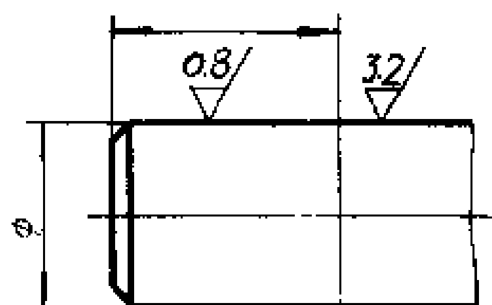


图 9-26　同一表面不同粗糙度注法

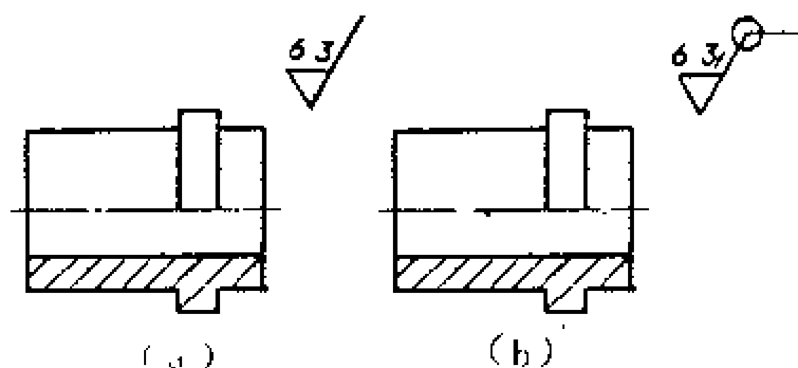


图 9-27　粗糙度统一注法

(6) 对键槽的工作表面和倒角、圆角的表面粗糙度代号，可以简化标注，如图 9-28。

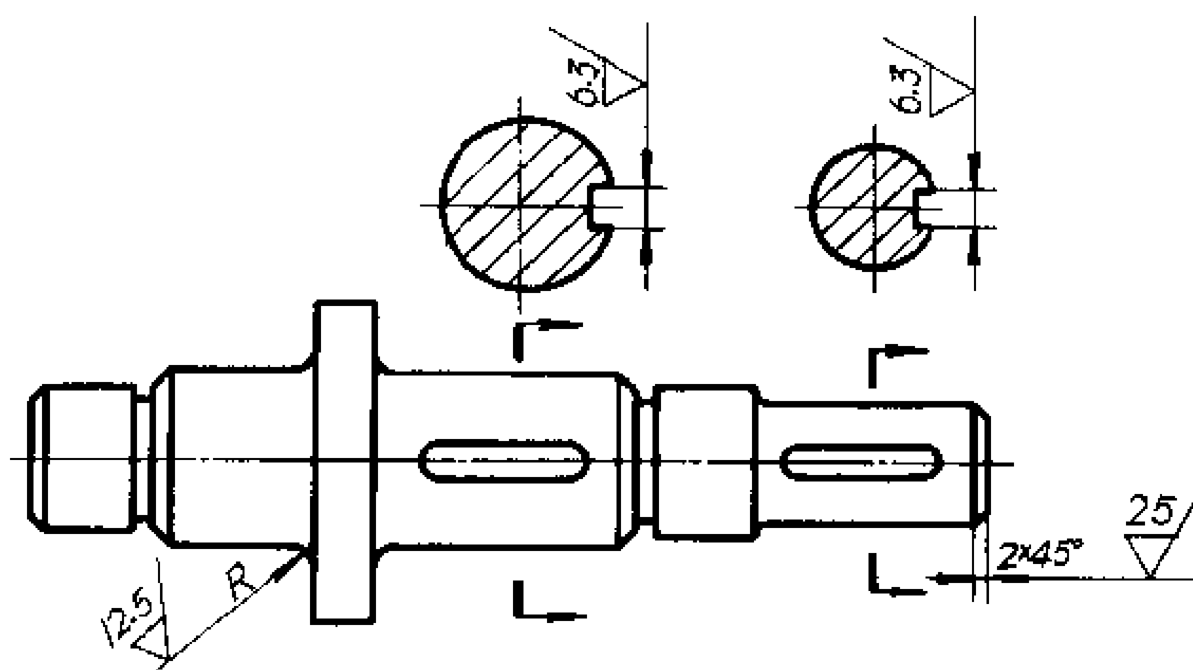


图 9-28　键槽、倒角、圆角的表面粗糙度代号注法

(7) 齿轮、螺纹等工作表面没有画出齿形、牙形时，其粗糙度代号可按图 9-29、图 9-30 的方式标注。

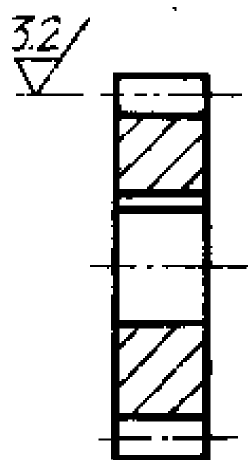


图 9-29　齿轮粗糙度的注法

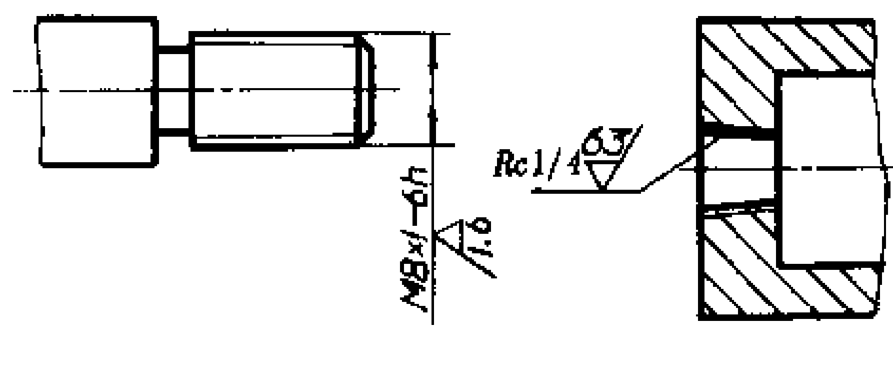


图 9-30　螺纹粗糙度注法

(8) 需要镀涂的零件表面，代号上标注的数值是镀涂后的要求，如图 9-31a 所示表面镀铬后，表面粗糙度 R_a 的最大允许值为 3.2μm。

若需要表示镀涂前后的表面粗糙度值时，应另加说明，如图 9-31b。

若同时要求表示镀涂前、后的表面粗糙度值时，标注方法如图 9-31c。镀涂前的代号是在轮廓延长线上，镀涂后的代号标注在该轮廓的表示线(粗点划线)上。

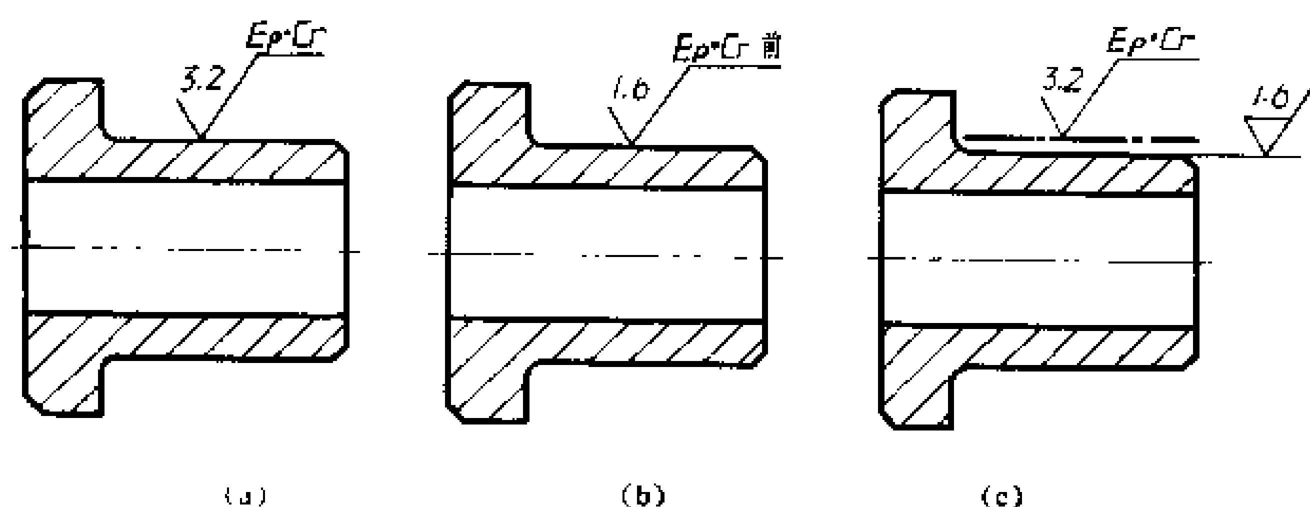


图 9-31　镀涂的零件表面粗糙度注法

9.5　公差与配合

现代化的生产常是专业大批量生产，生产的零件要求有互换性。零件的互换性，是指在加工好的同样零件中任选一个，不经过任何钳工修配就可装配到产品上去，并能达到一定的使用要求(如工作性能、零件间配合的松紧程度等)的性质。由于互换性在机器制造中的应用，既大大地简化了零件、部件的制造与装配过程，缩短了生产周期，提高了生产率，降低了生产成本，便于维修，同时又保证了产品质量的稳定性。

为了保证互换性，就必须对零件的尺寸规定一个允许的最大变动量，这个允许的最大变动量叫做公差。换言之，规定公差即规定零件实际尺寸的变动范围，只要加工后零件的尺寸在这个允许范围内，零件进行装配时就能保证互换性。

从机器的使用要求来看，把轴装到孔里，有的要求紧，有的要求松，两者结合要求的松紧程度，叫做配合。配合松紧是由尺寸公差的分布控制的，故公差与配合密切相关。

我国在1979年制订了国家标准《公差与配合》(GB1800 ~ 1804 — 79)。该标准根据我国工业生产的实际现状，又考虑到工业生产发展的需要，采用了国际公差制，即ISO制。现将有关内容介绍如下。

9.5.1　公差与配合的基本概念

1. 基本尺寸、实际尺寸和极限尺寸

基本尺寸 —— 根据零件的结构功能要求，在设计时所给定的尺寸。如图9-32的尺寸 $\phi40$ 是基本尺寸。

实际尺寸 —— 零件制成后，实际测量所得的尺寸。

极限尺寸 —— 由于制造时不可能把尺寸做得与设计给定的尺寸完全相同，所以在设计时规定了允许尺寸变化的两个界限值。这两个界限值中，较大的一个称为最大极限尺寸，较小的一个称为最小极限尺寸。实际尺寸在这两个极限尺寸之间的零件是合格的，否则就是不合格的。

例如图9-32中的轴 $\phi40^{+0.015}_{-0.010}$ 表示：

基本尺寸　$\phi40$mm

最大极限尺寸　$\phi40 + 0.015 = \phi40.015$mm

最小极限尺寸　$\phi40 - 0.010 = \phi39.99$mm

因此，实际尺寸在 $\phi39.99$mm 到 $\phi40.015$mm 之间的轴均是合格的。

2. 尺寸公差、标准公差、公差等级及其代号

尺寸公差(简称公差)—— 允许尺寸的变动量。公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之差的绝对值。

标准公差 —— 公差配合标准的表列中，用以确定公差大小的任一公差。

公差等级 —— 确定尺寸精确程度的等级。属于同一等级的公差，对所有的基本尺寸虽然数值不同，但被认为具有相同的精确程度。

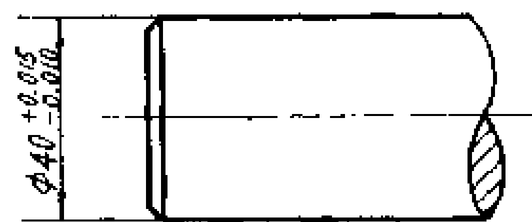


图 9-32 尺寸公差

例如，图 9-32 中的轴 $\phi40^{+0.015}_{-0.010}$ 表示：

公差 = 40.015 − 39.99 = 0.025mm。按标准公差表(见附录 8)，在直径分段 > 30 − 50 中，公差 0.025 属于标准公差，公差等级是 7 级。

标准公差的代号用IT表示，公差等级用阿拉伯数字表示，国际公差制规定标准公差分为：IT 01，IT0，IT1，IT2，IT3，…，IT 18，共 20 级。IT 01 级为最高，以下顺次降低。IT 01 — IT4 主要用于块规量规；IT2 — IT5 用于特别精密零件的公差配合；IT5 — IT 13 用于配合尺寸；IT 12 以下用于非配合尺寸。

3. 尺寸偏差、基本偏差及其代号

(1) 尺寸偏差(简称偏差)—— 某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差，最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差。上偏差与下偏差统称为极限偏差。实际尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差，它可以为正、负或零值。

例如，图 9-32 中的轴 $\phi40^{+0.015}_{-0.010}$ 表示：

上偏差 = ϕ40.015 − ϕ40 = + 0.015mm；

下偏差 = ϕ39.99 − ϕ40 = − 0.010mm。

尺寸公差也等于上偏差与下偏差之代数差的绝对值。

公差与配合常用示意图来表示。在示意图中，确定偏差的一条基准直线，即零偏差线，通常称为零线，它代表基本尺寸。当零线画成水平线时，零线以上的偏差为正，零线以下的偏差为负。在示意图中表示上、下偏差的两条直线所限定的一个区域称为尺寸公差带。

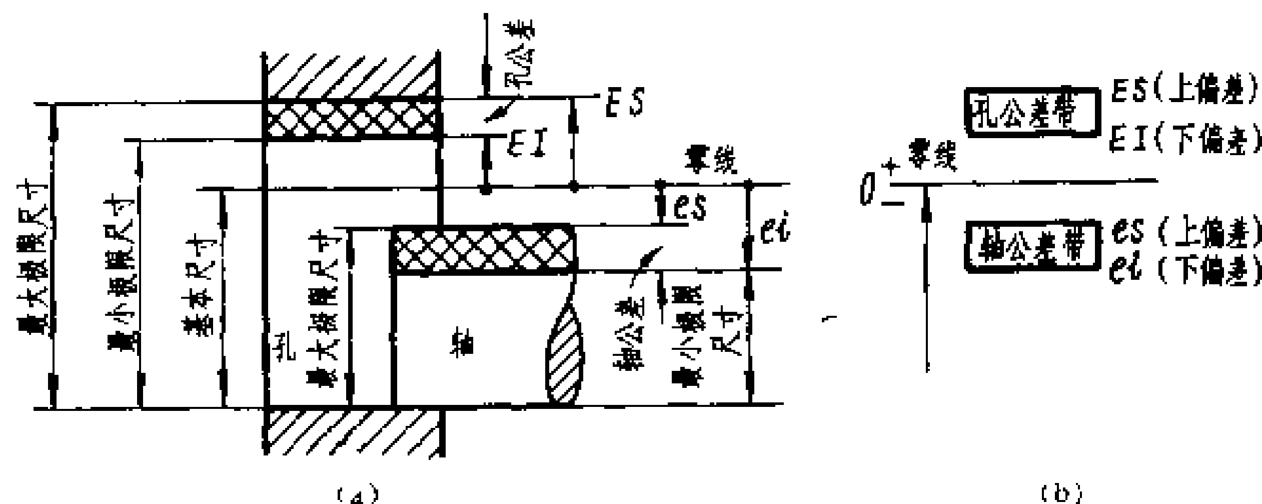


图 9-33 尺寸公差与尺寸极限偏差

图 9-33a 说明了尺寸公差与尺寸极限偏差的相互关系。为了简化起见，在实用中一般以公差带示意图来表示，如图 9-33b。

偏差代号规定如下：

孔的上偏差代号为大写拉丁字母 ES，孔的下偏差代号为 EI；轴的上偏差代号为小写拉丁

字母 es；轴的下偏差代号为 ei。

(2) 基本偏差 —— 公差配合标准的表列中用以确定公差带相对于零线位置的上偏差或下偏差，一般是靠近零线的那个偏差。

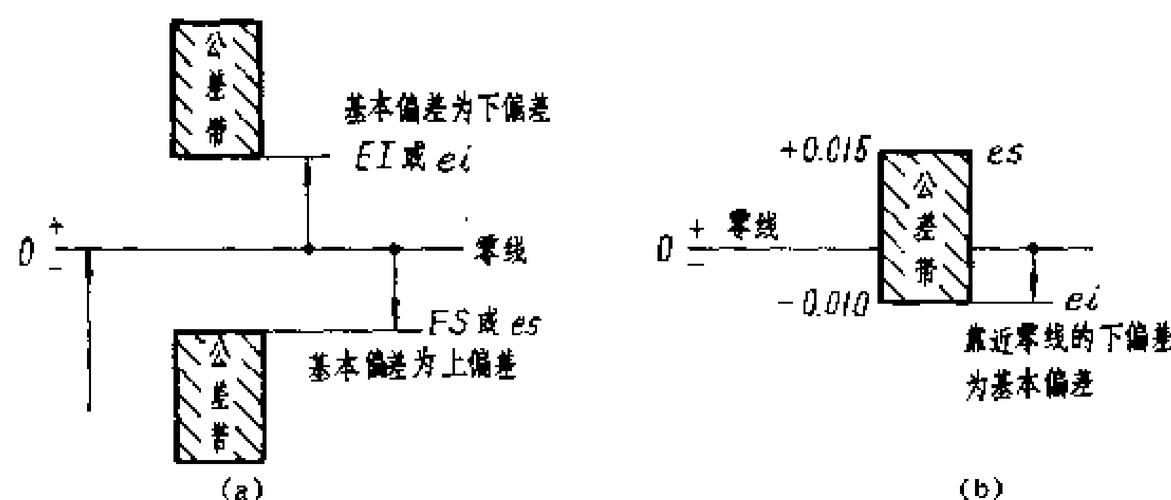


图 9-34　基本偏差

例如图 9-34a 所示，当公差带在零线上方时，其基本偏差为下偏差；当公差带在零线下方时，基本偏差为上偏差。又如，图 9-34b 是轴 $\phi40^{+0.015}_{-0.010}$ 的公差带，它与零线交叠，靠近零线的那个下偏差 -- 0.010 为基本偏差。

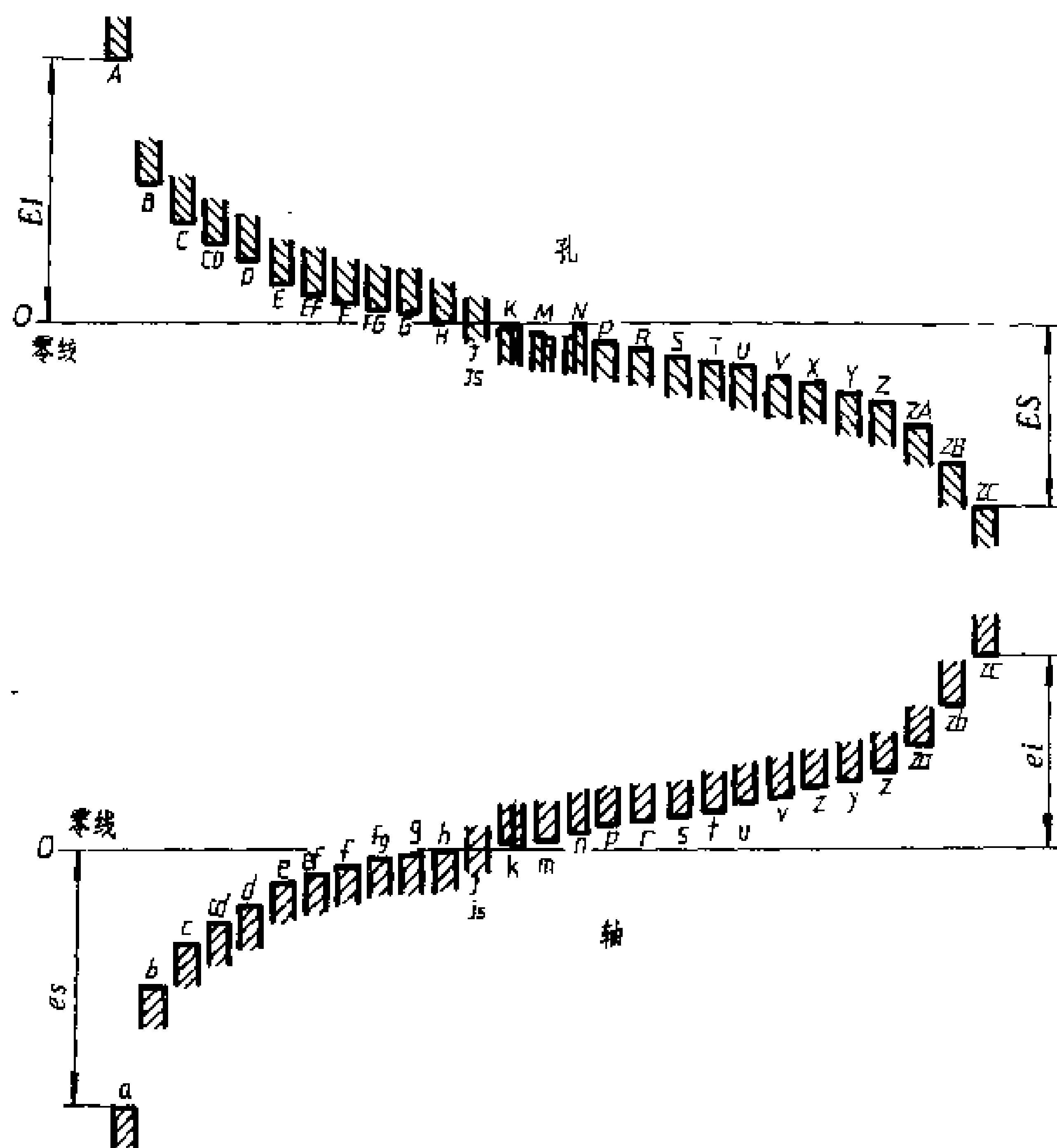


图 9-35　基本偏差系列图

国际公差制规定，孔和轴的基本偏差为 28 个，基本偏差代号用拉丁字母表示，大写为孔、小写为轴。

图 9-35 为某一尺寸的基本偏差系列图。

图中、斜线部分表示公差带；斜线部分与零线之间的区域表示基本偏差；J 与 j 代表对零线近似对称分布偏差；而 Js 与 js 为完全对称分布偏差，其上、下偏差为 $\pm\frac{1}{2}$IT。因此，严格地讲，Js 和 js 没有基本偏差。

对轴来说，基本偏差 a ～ h 为上偏差 es，j ～ zc 为下偏差 ei；对孔来说，A ～ H 为下偏差 EI，J － ZC 为上偏差 ES。从 a 到 h 或 A 到 H 基本偏差的绝对值逐渐减小，而从 j 到 zc 或 J 到 ZC 基本偏差的绝对值逐渐增大，h 和 H 的基本偏差为零。

4. 孔、轴公差带代号与孔、轴极限偏差的确定

孔、轴公差带代号是用基本偏差代号与公差等级代号组成。

例如：H8，S6，K6，F7 等为孔的公差带代号；h8，s6，k6，f7 等为轴的公差带代号。

已知孔、轴公差带代号，即知道孔、轴的基本偏差代号与公差等级，可查表得孔、轴的极限偏差值。

例如：孔 ϕ50H8 查表得孔的极限偏差为 $\phi 50^{+0.039}_{0}$；

轴 ϕ50f7 查表得轴的极限偏差为 $\phi 50^{-0.025}_{-0.050}$。

5. 配合

配合是指基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。对于不同的配合，由于孔、轴公差带的位置不同，孔、轴的实际尺寸也不同，装配可能出现不同松紧程度，即出现间隙或过盈，如图 9-36。

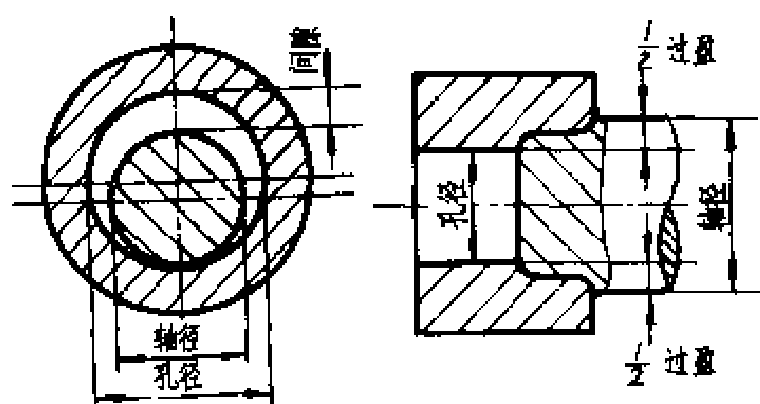


图 9-36　配合的间隙与过盈的示意图

间隙或过盈 —— 孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得代数差，若此差值为正时是间隙，为负时是过盈。

根据机器的功能要求，配合分成三类，即：间隙配合，过盈配合，过渡配合。

(1) 间隙配合 —— 具有间隙（包括最小间隙等于零）的配合，此时孔的公差带在轴的公差带之上，如图 9-37。

在间隙配合中，孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得代数差为最小间隙。孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得代数差为最大间隙。

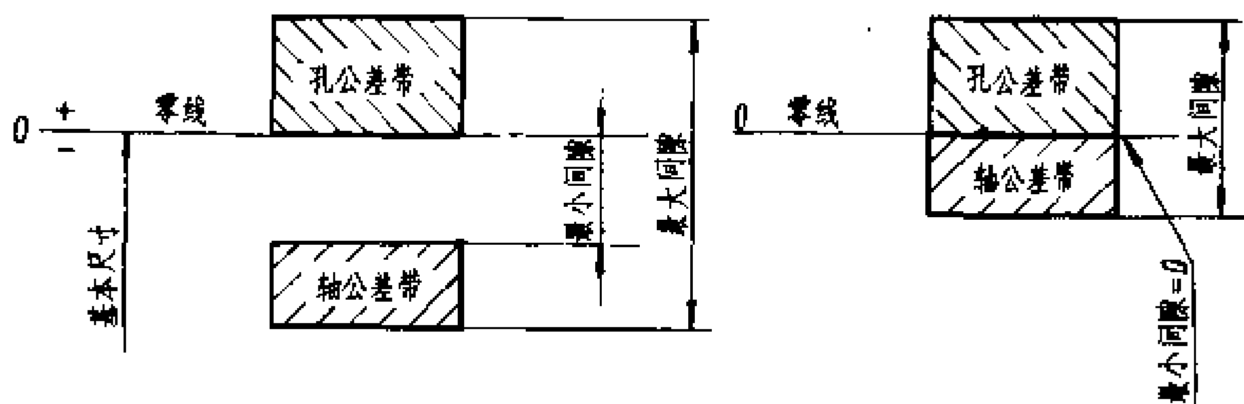


图 9-37　间隙配合

(2) 过盈配合 —— 具有过盈（包括最小过盈等于零）的配合，此时孔的公差带在轴的公差带之下，如图 9-38。

在过盈配合中，孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得代数差为最小过盈。孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得代数差为最大过盈。

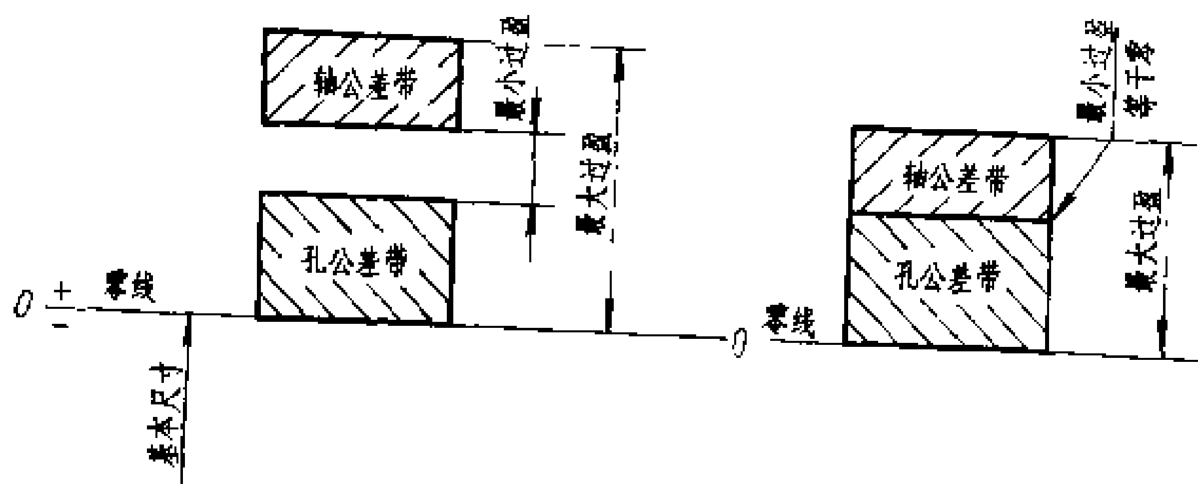


图 9-38　过盈配合

(3) 过渡配合 —— 可能具有间隙或过盈的配合，此时孔的公差带与轴的公差带交叠。

在过渡配合中，孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得代数差为最大间隙。孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得代数差为最大过盈，如图 9-39。

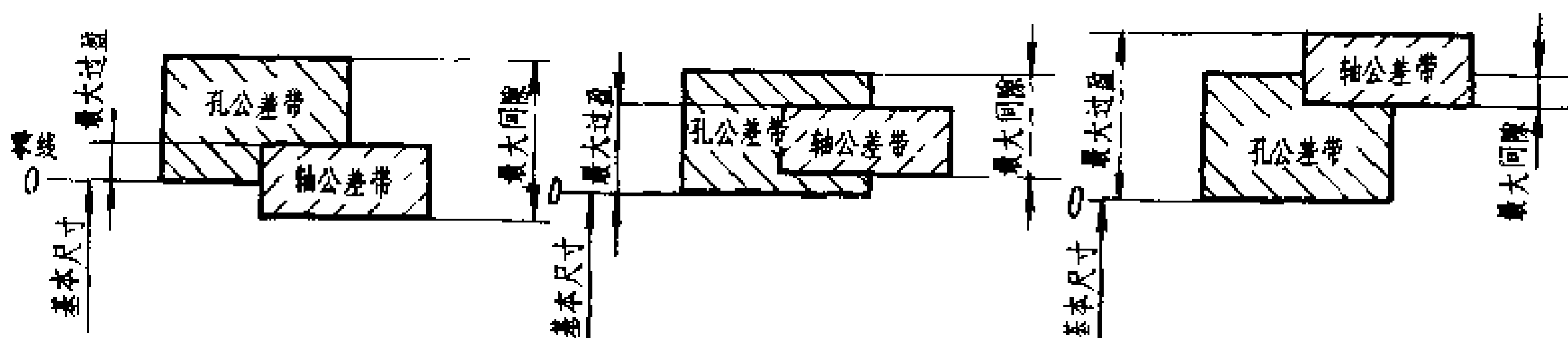


图 9-39　过渡配合

配合代号：用孔、轴公差带代号组合表示，写成分数形式，分子为孔的公差带代号，分母为轴的公差带代号，如 H8/f7 或 $\frac{H8}{f7}$。例如：ϕ50H8/f7 配合，查表得知是间隙配合，如图 9-40。

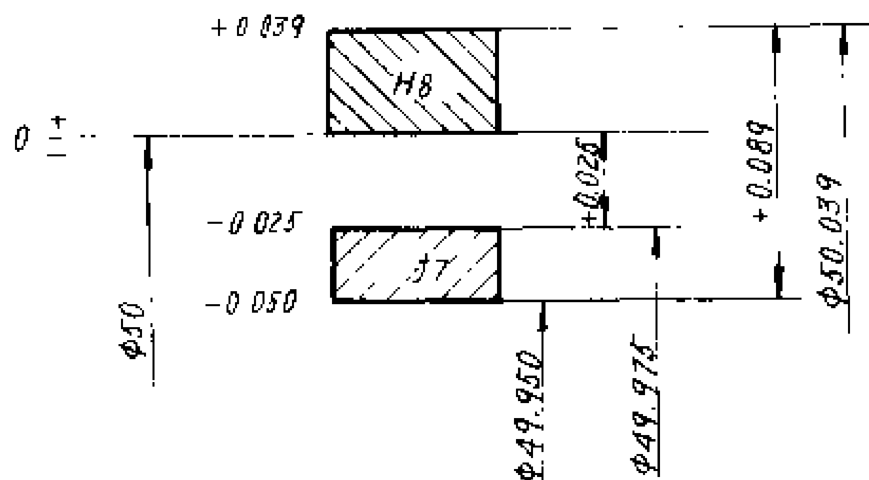


图 9-40　间隙配合

孔和轴的基本尺寸 ϕ50mm，

孔的最大极限尺寸 ϕ50.039mm，

孔的最小极限尺寸 ϕ50.000mm，

轴的最大极限尺寸 ϕ49.975mm，

轴的最小极限尺寸 ϕ49.950mm，

最大间隙 $X_{max} = 50.039 - 49.950$

$= +0.089$mm，

最小间隙 $X_{min} = 50.000 - 49.975 = +0.025$mm。

6. 基准制

当基本尺寸确定之后，为了得到孔与轴之间各种不同性质配合，需要确定其基本偏差数值，如果孔和轴两者都可任意变动，则情况变化极多，不利于零件的设计和制造。为此固定其中一个零件的基本偏差，而通过改变另一被配合零件的基本偏差，得到各种不同的配合要求，这就是基准制。国家标准规定有基孔制与基轴制两种基准制。

(1) 基孔制（代号 H）是指基本偏差为一定的孔的公差带，与不同基本偏差的轴公差带形成各种配合的一种制度。基孔制的孔为基准孔，标准中规定基准孔的下偏差为零，如图 9-41。

(2) 基轴制（代号 h）是指基本偏差为一定的轴的公差带，与不同基本偏差的孔公差带形成各种配合的一种制度。基轴制的轴为基准轴，标准中规定基准轴的上偏差为零，如图 9-42。

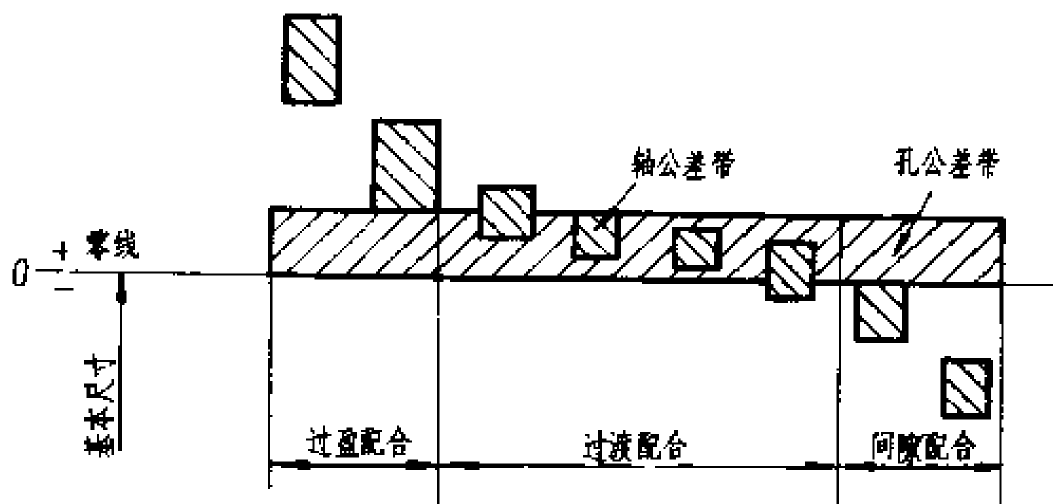


图 9-41　基孔制

9.5.2　公差配合的标注

1. 装配图上的标注

在装配图上，应注出配合部位的基本尺寸与配合代号(配合代号是用孔、轴公差带代号组合表示，写成分数形式)，标注的配合代号可以清楚表示它是哪一种基准制，属于哪一种配合性质(间隙或过盈多大)，以及轴、孔的标准公差等级。

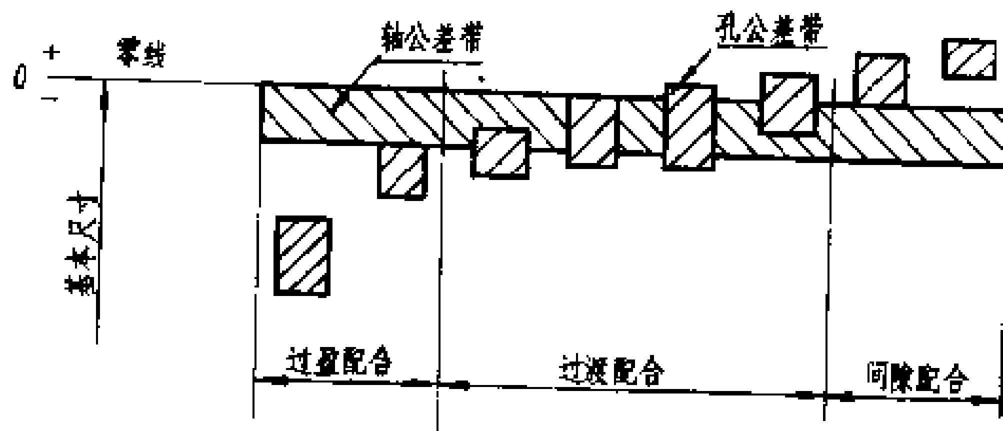


图 9-42　基轴制

例如，图 9-43 中"$\phi20H8/f7$"表示基孔制的基准孔是公差等级 8 级，它与公差等级为 7 级、基本偏差为 f 的轴配合，此种配合属于间隙配合。

又如，图 9-44 中"$\phi20N6/h5$"表示基轴制的基准轴是公差等级 5 级，它与公差等级为 6 级，基本偏差为 N 的孔配合，此种配合属于过盈配合。

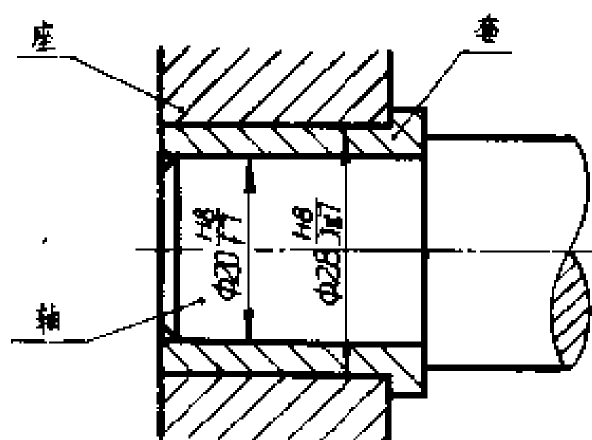


图 9-43　基孔制标注示例

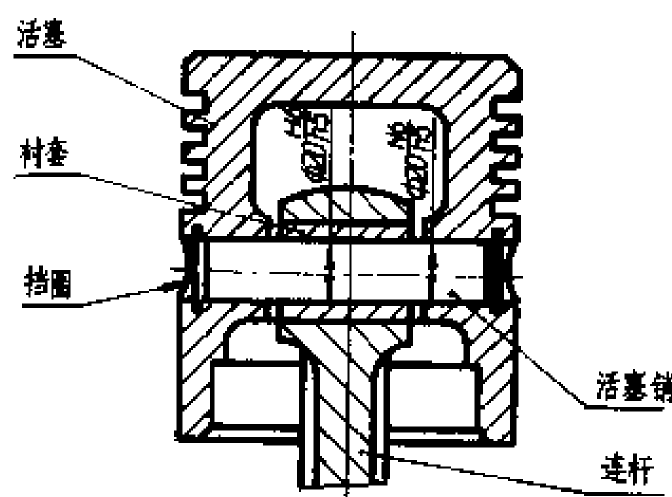


图 9-44　基轴制标注示例

2. 零件图上的标注

在零件图上，应注出配合部位的基本尺寸与公差带代号，也就是把装配图标注的分式中的分子部分注在孔的基本尺寸后面，而把分母部分注在轴的基本尺寸后面，如图 9-45。

在零件图上，可以在基本尺寸后面注出公差带代号，也可以注出极限数值，或两者同时标注，即在注明公差带代号后，用括弧加注极限偏差数值，如图 9-46。

在零件图上填写偏差数值时，上偏差应注在基本尺寸的右上方；下偏差应与基本尺寸注在

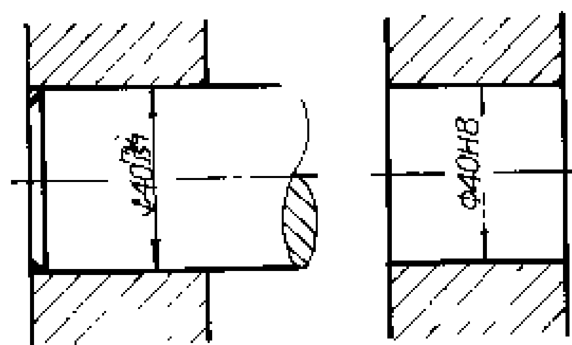


图 9-45　零件图上公差带代号的标注

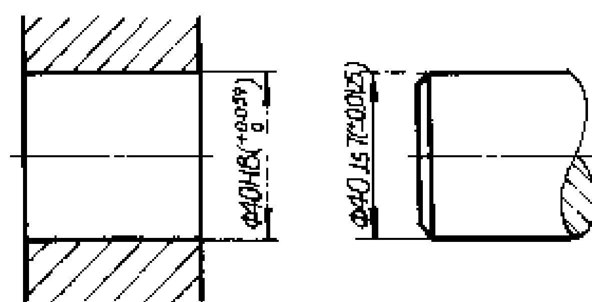


图 9-46　零件图上公差带代号与极限偏差的标注

同一底线上，如图 9-47。上、下偏差的小数点必须对齐，小数点后的位数也必须相同，如图 9-47a，b。当上偏差或下偏差为零时，把数字“0”标出，并与下偏差或上偏差的小数点前的个位数对齐，如图 9-47d。当公差带相对于基本尺寸对称配置，即两个偏差相同时，偏差只需注写一次，并应在偏差与基本尺寸之间注出符号“±”，且两者数字高度相同，如图 9-47c。

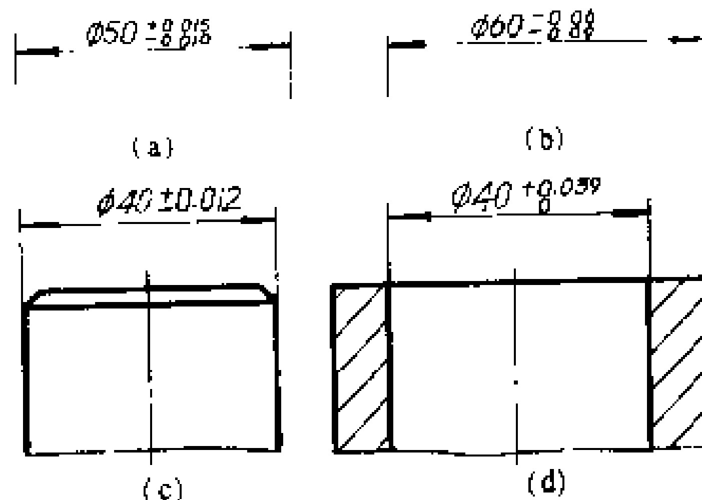


图 9-47　零件图上极限偏差的标注

9.6　形状与位置公差的代号及其注法

形状与位置公差简称形位公差，它是指零件加工后的实际要素的形状和相对位置对理想形状和理想位置所允许的变化范围。如图 9-48 是机床的轴套，它的 φ40H6 内孔有圆度要求，允许的变化范围是不大于 0.004mm，而内孔轴心线对外圆柱轴心线之间还有同轴度要求，允许在直径为 0.012 圆柱形公差范围内变动。前者是零件上要素的形状公差，后者是零件上要素（轴心线）的位置公差。

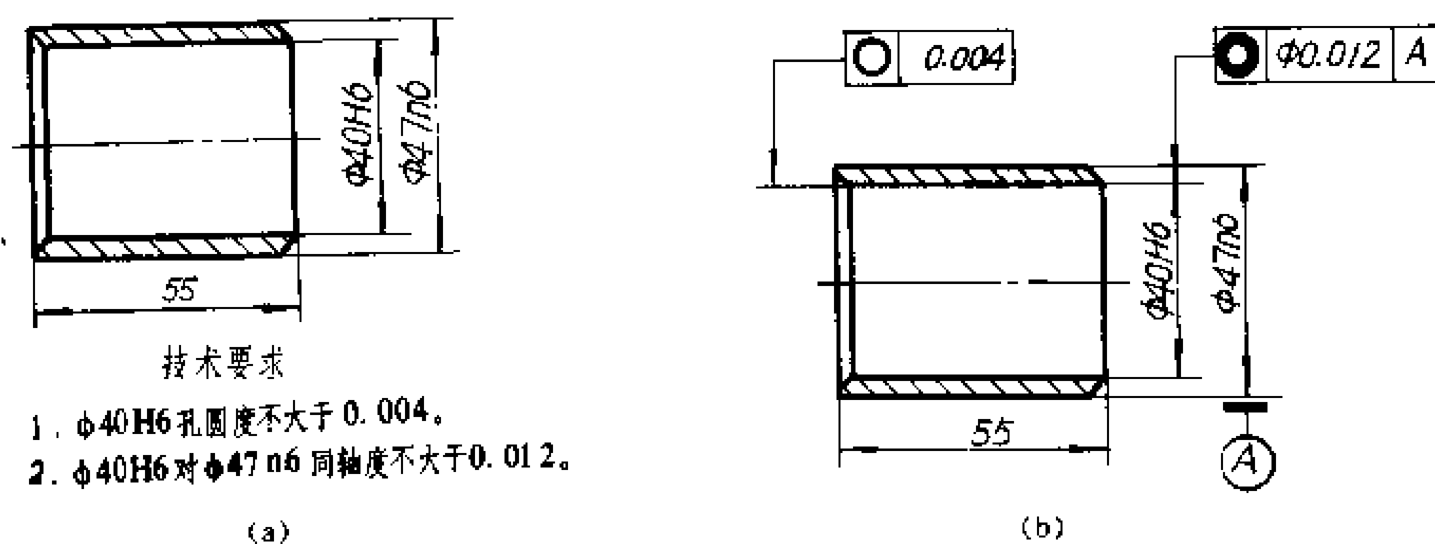


图 9-48　轴套的形位公差标注方法

形状公差对机器、仪器等各种产品的性能，如工作精度、连接强度、密封性、运动平稳性、耐磨性、噪声等都有一定的影响，尤其对于在高速、高温、高压、重载荷条件下工作精密机器与仪器更为重要，因此它与表面粗糙度、尺寸公差一样，是评定产品质量的一项重要技术指标。

按国家标准《形状与位置公差》中规定，这里简要地介绍形位公差代号及其注法。

9.6.1 形状与位置公差的种类和符号

形状与位置公差共有二类十四个项目，每一项目对应的符号见表 9-5。

表 9-5 形位公差符号

分类	名称	符号	分类		名称	符号
形状公差	直线度	—	位置公差	定向	平行度	//
	平面度	▱			垂直度	⊥
	圆度	○			倾斜度	∠
	圆柱度	⌭		定位	同轴度	◎
	线轮廓度	⌒			对称度	⌯
	面轮廓度	⌓			位置度	⌖
				跳动	圆跳动	↗
					全跳动	⌰

9.6.2 形位公差代号及其标注方法

形位公差一般采用框格标注。当无法采用框格标注时，允许在技术要求栏内用文字说明。

1. 形位公差框格画法

公差框格用细实线绘制，一般画成水平位置，必要时也可以画成垂直位置。

公差框格按实际需要可分隔成两格或多格，各格内按从左到右的顺序填写以下内容：

第一格 —— 形位公差符号；

第二格 —— 形位公差数值及有关附加符号；

第三格及以后各格 —— 基准代号的字母及其他符号，如图 9-49。

框格的推荐尺寸见图 9-49，格中数字和字母的高度与图样中的其他字体高度相同。

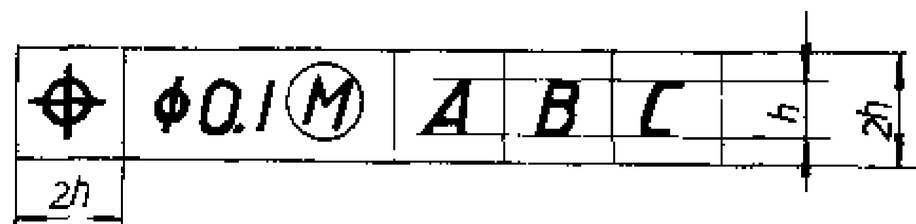


图 9-49 形位公差框格

2. 被测部位的画法

框格必须与零件上有形位公差要求的要素发生关系。有形位公差要求的要素又称被测要素。标准中规定，如图 9-50 被测部位的指引线是带箭头的指引线。它与公差框格的一端（左端或右端）相连，并指到被测要素的轮廓线或其引出线上。

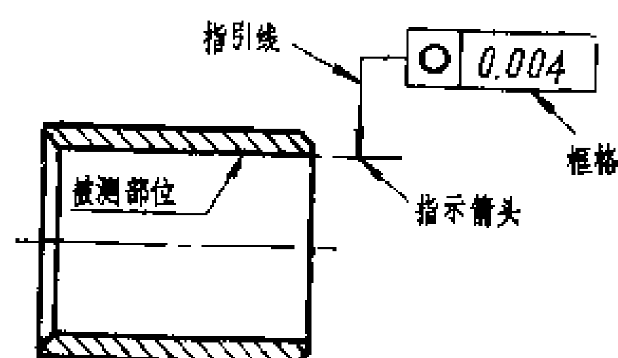


图 9-50 被测部位指引线画法

由于被测要素不一样，在标注时也必须予以区别：

(1) 当被测要素为轴心线、球心或对称平面时，指引线的箭头应与该要素的尺寸线对齐，如图 9-51 表示 φ20 圆柱面轴心线的直线度公差不得大于 0.01mm。

(2) 当被测要素为零件的表面时，指引线的箭头应与尺寸线错开一个足够的距离，如图

9-52 表示$\varnothing$20 圆柱面的母线直线度不得大于 0.01mm。

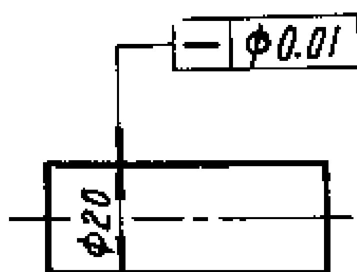


图 9-51 被测要素为轴心线的标注

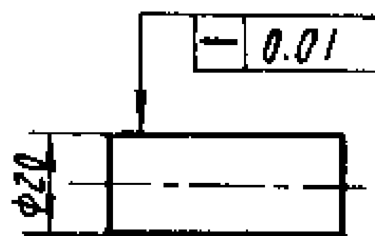
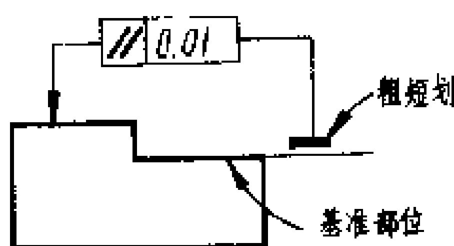


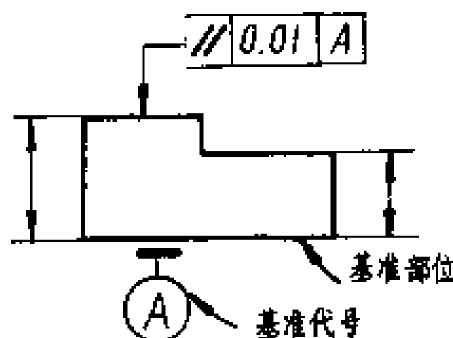
图 9-52 被测要素为表面的标注

3. 基准部位的画法

基准部位的指引线是带有基准符号的指引线，基准符号用加粗的短划线表示。基准部位与公差框格的另一端相连。基准符号应该靠近基准要素的轮廓线或其引出线，如图 9-53a。



(a)

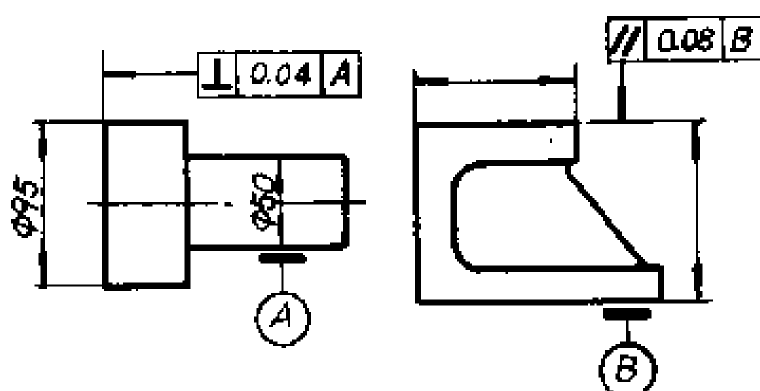


(b)

图 9-53 框格与基准部位

当基准符号不便与公差框格直接相连时，则用基准代号标注，如图 9-53b。基准代号由基准符号、圆圈和相应的字母等组成。当采用基准代号标注时，须在公差框格中填写相应的字母。

当基准要素为轴心线或对称平面时，基准代(符)号的指引线应与该要素的有关尺寸线对齐，如图 9-54a 中 φ95 圆柱的端面对 φ50 圆柱轴心线有垂直度要求，基准是 φ50 圆柱的轴心线，基准代号应与 φ50 尺寸线对齐。当基准要素是平面、圆柱面时基准代号应与尺寸线错开一个足够的距离。如图 9-54b 中上平面对底面有平行度要求，基准是底平面，基准代号不要与尺寸线相连。



(a) (b)

图 9-54 基准代号的标注

9.7 技术要求与材料符号

9.7.1 技术要求

在零件图上标注了尺寸、尺寸公差、形位公差、表面粗糙度等要求后，有时还不能完全反映出零件的质量要求，这时可以用文字(长仿宋体)在"技术要求"标题下说明，其位置应尽量置于标题栏的上方或左方。

技术要求的条文应编顺序号，每一条都要另起一行。仅一条时，不写顺序号。

技术要求内容应简明扼要、通俗易懂。技术要求一般包括下列内容：

(1) 对零件材料、毛坯、热处理的要求。例如：图 9-12 泵体中"铸件外表不得有砂眼及气孔"；图 9-10 刹车支架中"毛坯要进行退火处理"。

(2) 对有关尺寸要素的统一要求。例如：图 9-12 泵体中"铸造圆角 $R3\sim5$"。

(3) 对零件表面质量的要求。例如：图 9-13 安装板中"表面应无明显划痕"。

(4) 图样中不能用框格标注出来的形位公差要求。

(5) 对试验条件与方法的要求。例如：化工容器中的强度试验与密封试验。

9.7.2 材料代号

用以制造零件的材料，必须在零件图标题栏的"材料"一项中注明，一般是填写材料的代号。制造零件用的材料很多，具体名称和牌号，可参阅本书附录或有关手册。

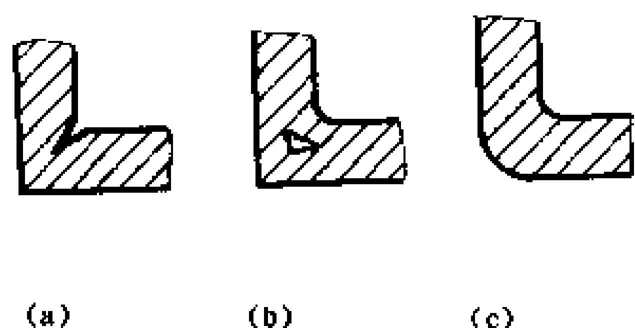
9.8 零件的结构工艺性

零件的结构形状主要由它的作用决定，但也必须考虑在制造上符合经济效益。这里主要介绍零件制造工艺对其结构要求。

9.8.1 铸造的一些结构

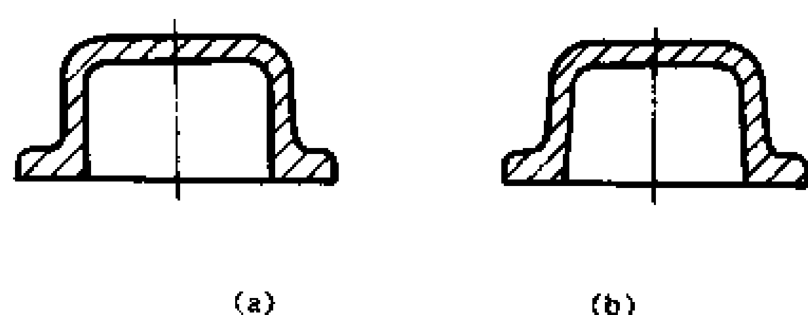
(1) 铸造圆角　铸件转角处应有圆角，如图 9-55c 所示。图 9-55a 所示结构容易产生裂纹，图 9-55b 所示结构容易产生缩孔。

(2) 起模斜度　为了起模方便，在不加工的表面上，沿起模方向均应有起模斜度，如图 9-56b，一般斜度为 1 : 100。图 9-56a 无起模斜度，结构上不合理。



(a)　(b)　(c)

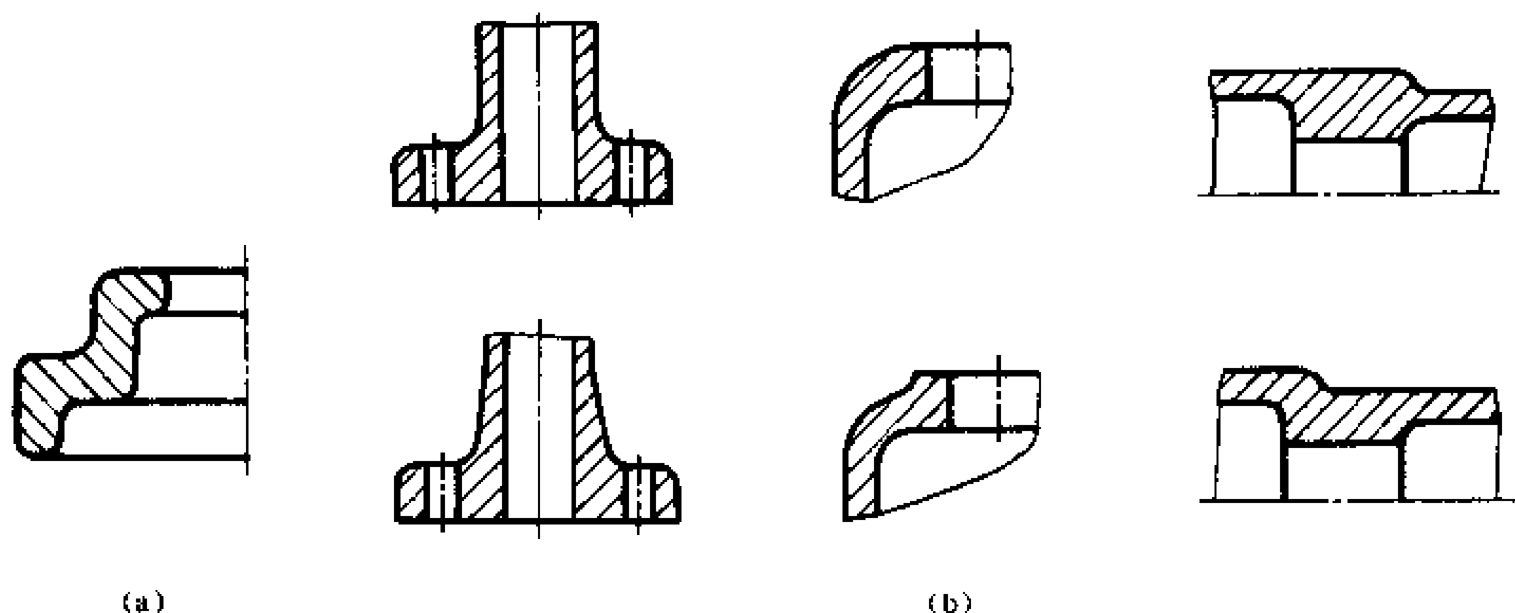
图 9-55　铸造圆角



(a)　(b)

图 9-56　起模斜度

(3) 壁厚　为了防止铸件在冷却时发生缩孔或裂孔，应尽量保持壁厚均匀，避免壁厚局部肥大，如图 9-57a。在必须有不同壁厚时，要逐渐过渡，避免突变。如图 9-57b 下排结构较好，上排结构不好。

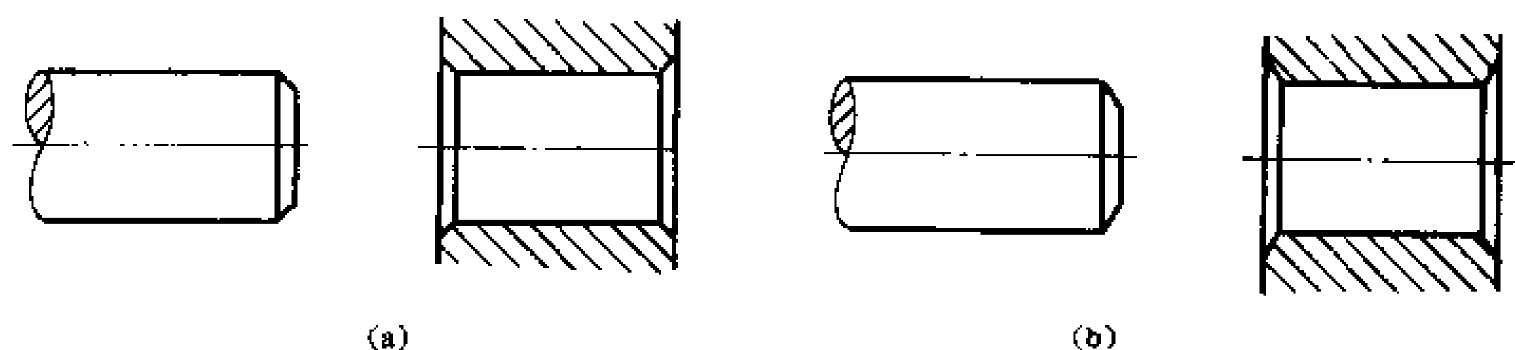


(a)　(b)

图 9-57　壁厚

9.8.2 切削加工的一些结构

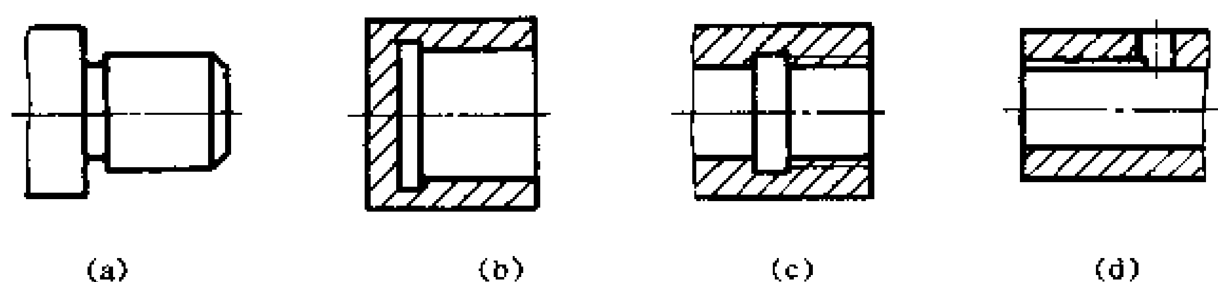
(1) 倒角　为了便于装配和操作安全，常在零件上作出倒角。常用的倒角是 45°，也有用 60° 和 30°。图 9-58a 为 45° 倒角，图 9-58 b 为 60° 倒角。



(a) (b)

图 9-58 倒角

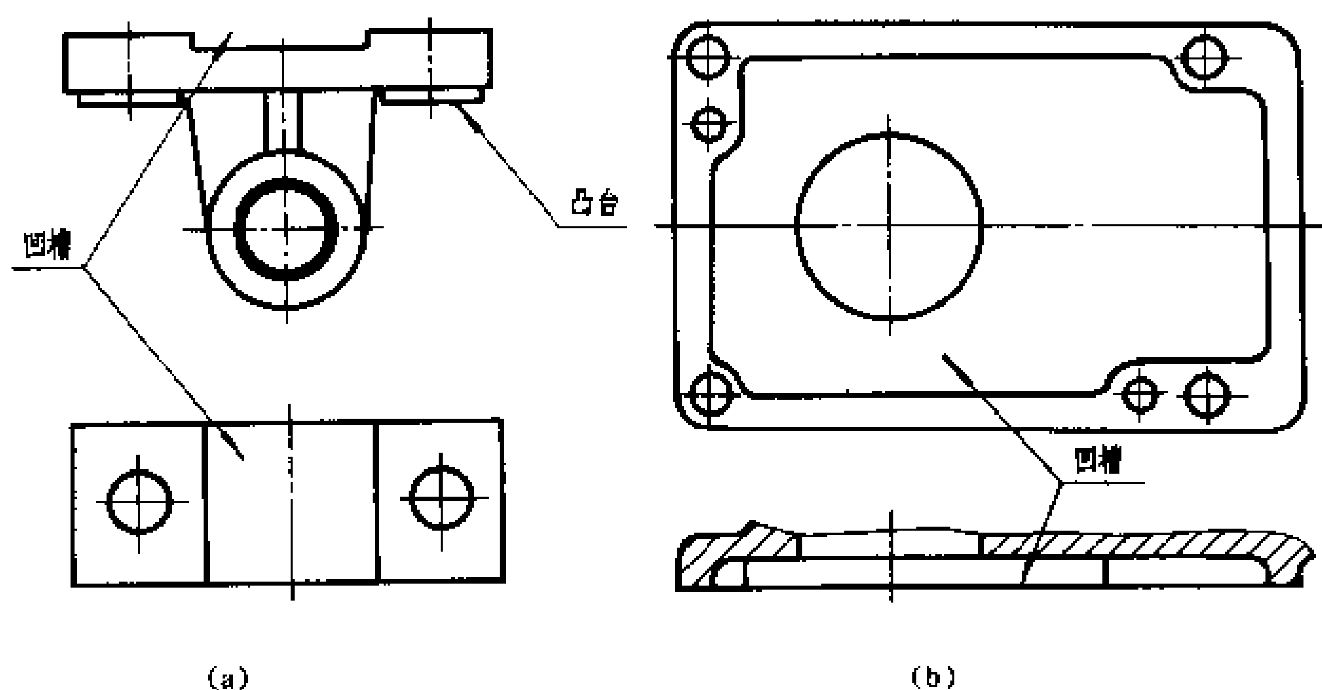
(2) 退刀槽与越程槽　在车、磨、铣、刨加工中，切削刀具对零件要求有退刀槽和越程槽，以保证加工表面全长上的质量。图 9-59a、b 上有车、磨的退刀槽和砂轮越程槽；图 9-59c 上有螺纹刀的退刀槽；图 9-59d 上有插刀退刀槽。



(a) (b) (c) (d)

图 9-59 退刀槽与越程槽

(3) 减少加工面积　为了减少加工面积，并保证零件间接触面的接触，常在铸件上设计出凹槽和凸台，如图 9-60a。图 9-60b 为柱塞泵安装面减少加工面的凹槽结构。



(a) (b)

图 9-60 减少加工面积的结构

9.9 画零件图和看零件图

9.9.1 画零件图

实际工作中，绘制零件图有两种情况：一种是测绘，即对现有零件进行分析、绘图、测量作出的零件图；另一种是拆图，按装配图对各个零件进行结构设计并画出零件图。

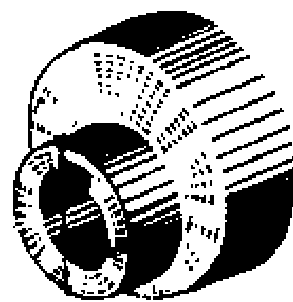


图 9-61 凸轮

画零件图，总的要求是既正确又迅速，具体要求是视图选择正确，尺寸标注正确、清晰、完整、合理，表面粗糙度代号等标注符合国家标准，图面整洁。现以图 9-61 凸轮(凸轮零件图见图 9-1)为例，说明画零件图的方法和步骤。

1. 了解零件名称、性能作用和制造要求等，并进行结构分析，搞清形状特点。

图 9-61 所示凸轮是柱塞泵中装在泵轴上的一个零件，见图 9-15。它是用平键与泵轴连接，故形体结构上有圆孔 $\phi15$，孔上开有键槽，其外形为一圆柱体，不过凸轮的中心与圆柱、圆孔中心偏心，圆柱长度与凸轮长度不同，它属轮盖零件。

2. 选择视图、确定表达方案

为了表示圆孔、圆柱及凸轮各基本形体的相对位置，以过轴心线的全剖视作为主视图。左视图表示凸轮与圆孔、圆柱的偏心，这样符合轮盖类零件的表达特点。

3. 选择图形比例，确定图纸幅面

零件图通常按零件实际大小来画为好，但过大或过小的零件应选用缩小或放大比例。这里圆柱体长为 26mm，凸轮的直径为 $\phi38$mm，总体尺寸不大，故选用 1：1 的画图比例。经过主、左视图的安排，可采用 A4 图纸幅面，此时应考虑留有标题栏的位置。

4. 画零件视图底稿

见图 9-62，用 2H 或 H 绘图铅笔，以细实线画出。

(1) 视图布置要匀称，如图 9-62a。

作出主视图、左视图的定位轴线，圆的中心线，端面或底面轮廓线。注意两视图之间留出一定间距，以便标注尺寸。

(2) 画主要形体，如图 9-62b。

以反映形状特征的左视图作圆孔、圆柱和凸轮的投影，画出三个圆。此时以投影关系联系起来画主视图，并以全剖视表示。

(3) 画形体的细节并检查投影和结构，画尺寸线和剖面线，如图 9-62c。

(4) 标注尺寸数字和粗糙度代号，加深底稿线，填写标题栏和技术要求，如图 9-62d。

标柱尺寸数字和粗糙度代号应符合《机械制图》国家标准。为了提高图面质量，对有圆弧连接处，应先加深圆弧，后加深直线，这样容易做到连接光滑，而水平和垂直的实线可分别集中加深。

全图完成后再认真检查一遍，最后在标题栏中填写各项内容。

9.9.2 看零件图

在加工、检验零件的过程中需要看零件图，在设计的过程中也要参考有关的零件图。看零件图的基本任务是：

(1) 根据各视图想象出零件的结构形状；

(2) 搞清零件的尺寸和各项技术要求。

前面学过以形体分析和线面分析看视图的方法，这些方法在看零件图时仍适用。但是，对于机械零件，仅从几何分析往往不容易全部看懂，也不能从本质上掌握对零件的要求。因此，在看零件图时必须根据零件作用、有关的机械结构和加工知识以及所注尺寸、技术要求、进一步对零件作结构分析，这才是看懂零件图迅速面有效的方法。现以图 9-63 柱塞泵的泵体为例，说明看图的方法和步骤。

1. 了解零件的名称、作用

首先根据标题栏有关说明资料，了解零件的名称、材料、比例等，同时大致了解该零件在机器或部件中的作用，这对认识和想象较复杂的零件结构尤其有很大帮助。

泵体是柱塞泵的主体，它支承和包容轴承，安装单向阀、轴、凸轮等零件。

2. 视图分析

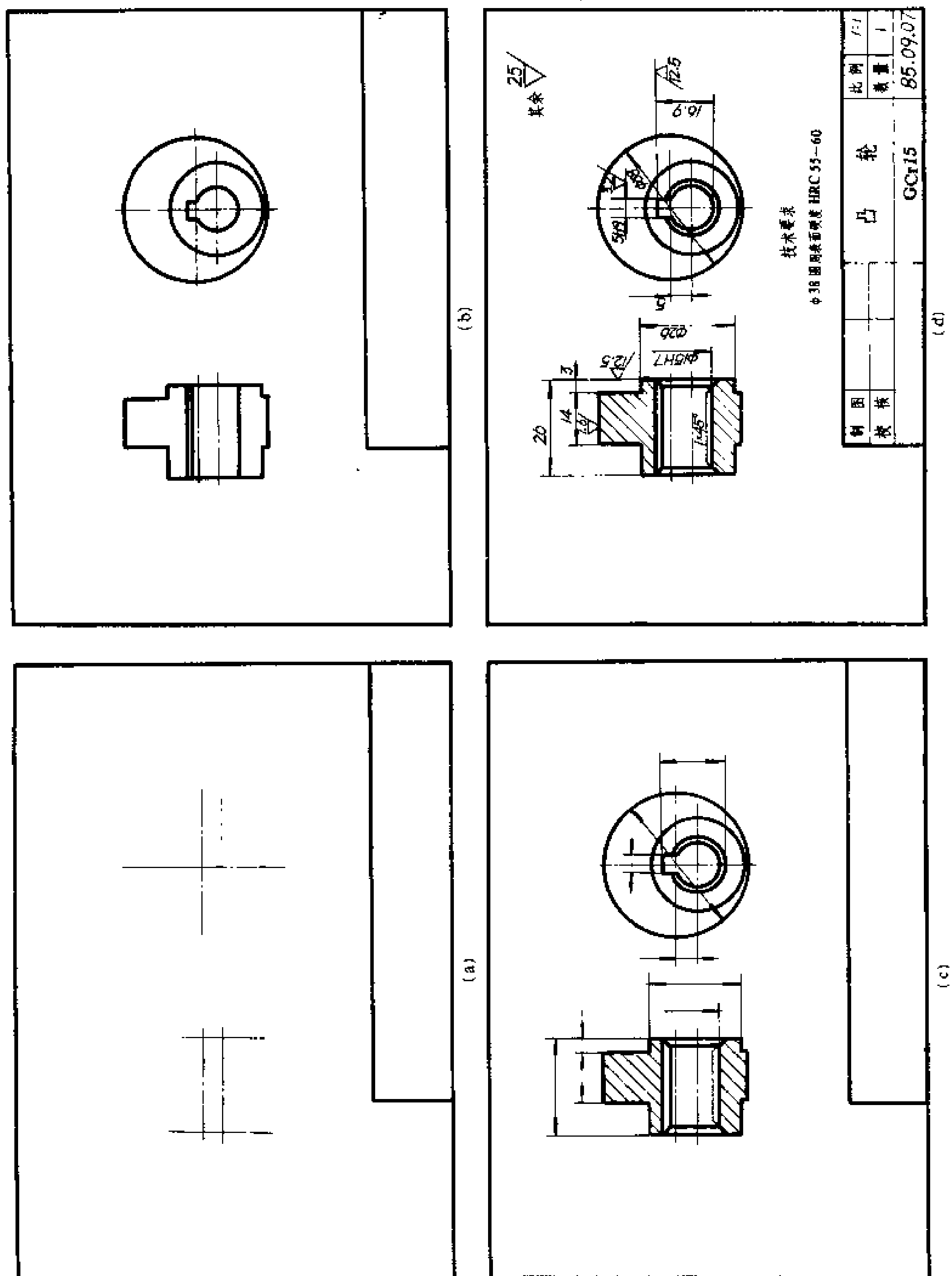


图 9-62　画零件图的步骤

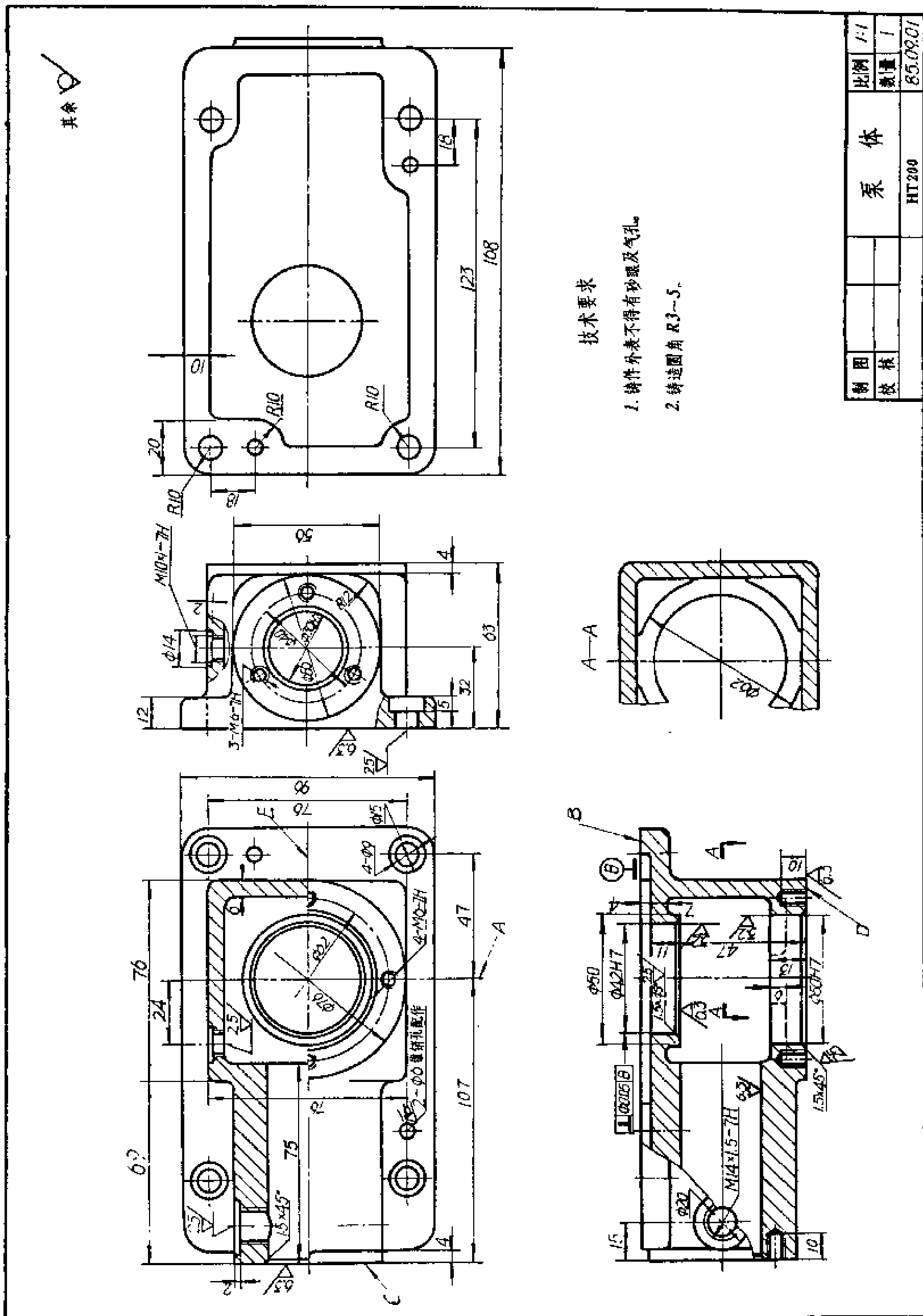

其余
技术要求
1. 铸件外表不得有砂眼及气孔。
2. 铸造圆角 R3~5。
泵 体
HT200
比例 1:1
数量 1
85.09.01
制图
校核
A—A

图 9-63 泵体零件图

了解各视图之间的投影关系，明确各视图所表达的内容，逐步想象出零件的形状。泵体的视图是由四个基本视图和一个局部剖视图所组成。主视图采用半剖视表达泵体内、外形状。俯视图采用局部剖视表达泵体内腔主要结构，保留单向阀与泵体连接处的部分外形结构。左视图主要表示泵体的外形，两处局部剖视分别表达安装螺钉的沉孔与固定油环的螺孔 $M10 \times 1-7H$ 形状。后视图是表达泵体安装面形状。$A-A$ 局部剖视图表示体内一凸台的形状，凸出部分的大小在俯视图上用虚线表示。

3. 结构分析

结构分析就是根据零件的作用，加工工艺要求，对零件的结构形状进行分析。

柱塞泵是某一机床上的润滑油泵。泵体是柱塞泵的主体，需要承装其他零件，因而有空腔、轴孔、凸台、沉孔、螺孔等结构，内、外形状较复杂，毛坯是铸铁件。

柱塞泵用四只 $M8$ 螺钉、两只 $\phi6$ 圆锥销安装在机床内，故在泵体的底上加工四个 $\phi9$ 沉孔，两个 $\phi6$ 圆锥销孔在安装时配钻、铰。安装面是 B 平面，为了减少 B 面加工面积，设计成凹槽结构。$\phi42H7$ 与 $\phi50H7$ 圆柱孔内装滚动轴承，在开孔的泵体前后两端面设有凸台，增加孔的轴向长度，确保与轴承外圆柱面的配合。$\phi50H7$ 圆柱端面的凸台要考虑铸件壁厚均匀与强度，设计成 $A-A$ 剖视图中的形状。$\phi30H7$ 圆柱孔内装泵套与柱塞，柱塞在泵套内往复移动，所以它的轴向长度较大，有75mm。泵体左端的上、下面上分别加工 $M14 \times 1.5-7H$ 螺孔，是安装两只单向阀，控制润滑油进出，螺孔有沉孔结构，保证单向阀端面与泵体贴合，以免漏油。泵体前平面 D 与左端面 C 将分别与衬盖、泵套的端面贴合，需经加工，为减少加工面积，设计成凸台结构。泵体的坯料是铸件，不经切削加工的表面在转角处都保留铸造圆角。

4. 看尺寸和技术要求

看尺寸与技术要求主要是：搞清楚哪些尺寸是功能尺寸，哪些是主要尺寸基准，公差等级多大，表面粗糙度要求如何，哪些表面要求比较高，在加工时需要采取什么措施才能保证质量。

图 9-63 泵体零件图上圆柱孔 $\phi42H7$、$\phi50H7$ 是和滚动轴承配合的尺寸，$\phi30H7$ 是和泵套配合的尺寸，都是主要的功能尺寸，公差等级为 7 级的基准孔，加工时应注意其实际尺寸要在规定的公差范围内，不然将直接影响它们的配合特性。除了注有公差带代号的尺寸外，其他的尺寸均按未注公差制造。

泵体的长度方向尺寸基准：主要基准是 $\phi50H7$ 轴线的中心面 A，辅助基准是左端面 C；泵体的宽度方向尺寸基准：主要基准是底平面 B，辅助基准是前平面 D；泵体的高度方向尺寸基准：主要基准是 $\phi50H7$ 轴线的中心平面 E。

泵体表面的粗糙度要求是：起安装定位作用的圆锥销孔表面粗糙度参数值为最小，表面要求用去除材料的方法加工，粗糙度 R_a 的上限值为 1.6μm。其次是有配合要求的 $\phi42H7$、$\phi50H7$ 和 $\phi30H7$ 圆柱孔表面，粗糙度 R_a 的上限值为 3.2μm。基准面 B、C、D 粗糙度 R_a 的上限值为 6.3μm。一般切削加工表面，如沉孔，粗糙度 R_a 的上限值为 12.5μm。图形上未注明粗糙度代号的表面均按 ∀ 制造，表示这些表面要求用不去除材料的方法（如铸造）加工，设计时粗糙度参数值没有要求，也不需要检验。

泵体的形位公差只有安装轴承的 $\phi42H7$ 圆柱孔的轴心线对安装面 B 有垂直度要求。垂直度公差为 $\phi0.05$mm。

泵体的毛坯是铸件，在技术要求栏中用文字说明铸件的外表要求与铸造圆角的大小。

思 考 问 题

9.1　试述零件图视图选择原则。

9.2　试述轴类、轮盖类、支架类、箱体类零件视图表达的特点。

9.3　零件图上合理标注尺寸应注意些什么?

9.4　说明粗糙度符号、粗糙度代号、特征代号的区别。

9.5　说明粗糙度代号在图样上的标注方法。

9.6　分别写出几个公差等级代号、基本偏差代号、公差带代号与配合代号。

9.7　标注形位公差时，怎样区别被测要素是零件的表面或者是零件的轴心线。

9.9　试述画零件图的具体步骤。

9.10 试述看零件图的具体步骤。

第10章　装配图

内容提要　本章介绍装配图的作用和内容，装配图的表达方法，以及由零件图画成装配图的方法和步骤；怎样看懂装配图和由装配图拆画零件图的方法；一些装配结构问题和画装配图时应当注意的事项。

10.1　装配图概述

装配图是表示产品及其组成部分的连接、装配关系的图样。

在设计过程中，根据设计对象的功用和要求，先要画出装配图来表达装配体的结构和传动等关系，再根据装配图设计零件并绘制零件图；在制造过程中，装配图是制订装配工艺规程，进行装配、检验、安装、调试及维修的技术依据。

装配图应包括视图、尺寸、技术要求、零件编号、标题栏和明细栏等内容，如图10-2就是图10-1所示球阀的装配图。

10.2　装配图的视图表达

装配图与零件图一样是按照投影原理画出的，表达零件结构形状所采用的各种视图、剖视、剖面和其他表达方法，都适用于表达机器或部件的装配图。

图10-2是球阀装配图，它有三个基本视图，主视图是全剖视，左视图因图形基本对称用半剖视，俯视图采用局部剖视图。除基本视图外，还有A向和B向局部视图。

装配图是表达多个零件组成的机器或部件的图样，在表达工作原理、区别不同零件、反映零件间装配关系及表示各零件的主要形状时，还有其特殊表达方法和应注意的问题。

10.2.1　装配图视图的表达要求

(1) 表示出部件整体以及各零件的主要结构形状。

(2) 反映部件中零件之间的装配关系和连接关系。

(3) 表示出部件的工作原理，包括传动路线、油液或气体通路的工作情况等。

10.2.2　装配图画法的基本规定

装配图的规定画法如图10-5所示，按编号说明如下：

① 两相邻零件的接触面和配合面只画一条轮廓线。

② 两零件虽相邻，但表面既不接触，也不配合，则必须画出两条线，即画出各自的轮廓线。

③ 当用剖视表达两个或两个以上零件相邻接触时，它们的剖面线应以倾斜方向不同或间距不同来加以区别。同一零件在各视图中的剖面线方向和间距必须一致。

④ 图样中宽度等于或小于2mm的狭小剖面，可用涂黑代替剖面符号。

⑤ 在装配图中，当剖切平面通过紧固件、实心件（如轴、手柄、球等）的轴线纵向剖切这些零件时，这些零件均按不剖绘制。但是，当剖切平面垂直于这类零件的轴线进行剖切时，仍按剖切表示，如图10-3俯视图中紧固件的画法。

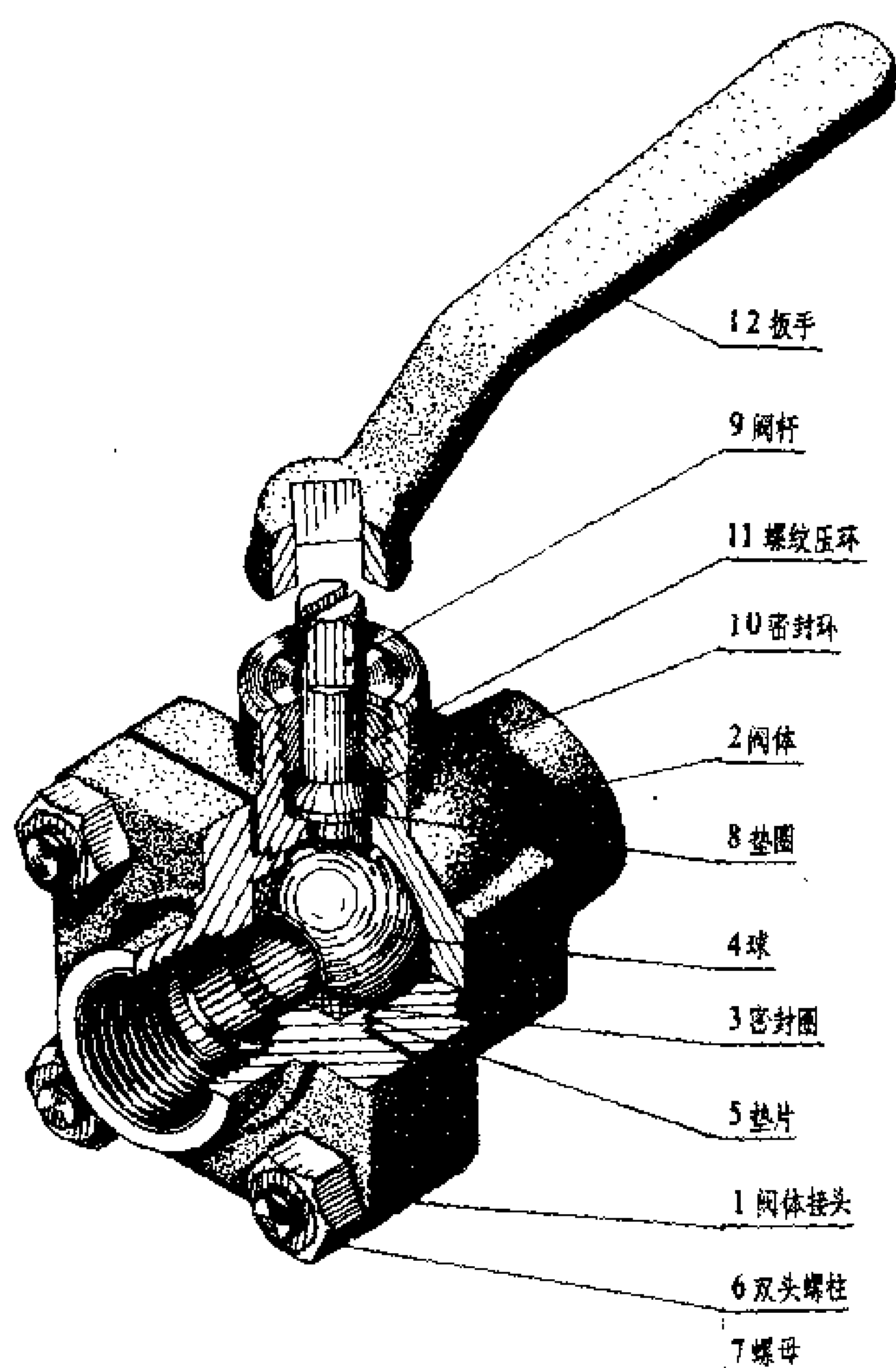


图 10-1　球阀轴测图

⑥ 对于不剖切表示的零件，如果其上有槽、孔、牙型等结构需要表达，则可采用局部剖视来表示。

图 10-3 是滑动轴承装配图，图 10-4 是滑动轴承的轴测图，可供画装配图时参考。

10.2.3　装配图的特殊表达方法和简化画法

为了使机器或部件的结构能用简便的方法在图样上表达出来，并且使装配图清晰、易懂，对装配图规定了一些特殊的表达方法和简化画法。现介绍如下：

1. 拆卸画法

在装配图的某个视图上，当某些零件（通常如盖等明显可以拆去的零件）遮住了需要表达的装配体内部或后面零件的装配结构时，可假想拆去这些零件后再画图。

（1）假想沿这些零件的结合面剖切，此时零件的结合面不画剖面线，而被剖切的零件必须画出剖面线。如图 10-3 俯视图的右半图和图 10-6a 就是沿结合面选取剖切平面的拆卸画法。

（2）假想将某些零件拆卸后再画图，需要说明时，可以标注"拆去 ××"等，如图 10-2 的左视图等。

性	能	说	明
公称压力 P_g		4 MPa	
密封压力 P		4MPa	
试验压力 P_s		6MPa	
适用介质		无腐蚀性石油及石油产品	
适用温度 t		≤200 ℃	

技术要求

1. 全部零件在装配前，皆应清除污秽 毛刺、尖棱和不平坦处。
2. 装配好后，阀杆、球的旋转应灵活，不得有倾斜或卡阻现象，当介质流动方向改变时，具有良好的密封性。
3. 关闭阀门时，手柄应按顺时针方向旋转。
4. 对本阀门材料的强度和紧密性，要按 Ps 进行水压强度试验。
5. 装配好后，要用煤油按密封压力 P 进行密封性试验。
6. 其他技术要求，按《球阀技术条件》(JB2311 － 78) 内规定。

拆去零件12

零件11 A向

零件2 B向

Q13SA－4

25

≤200 ℃

M27×1.5－7H/7g

φ16H11

φ54H11

SΦ45h11

Rc1

φ25

110

98

80×80

56×56

150

A

B

12	85.10.10	扳手	Q235 － A	1	
11	85.10.09	螺纹压环	25	1	
10	85.10.08	密封环φ16	聚四氟乙烯	1	
9	85.10.07	阀杆φ16	40	1	
8	85.10.06	垫圈φ16	聚四氟乙烯	1	
7	GB6171 － 86	螺母 M12		4	
6	GB898 － 88	螺栓AM12×25		4	
5	85.10.05	垫片φ47	L2	1	
4	85.10.04	球φ25	40	1	
3	85.10.03	密封圈φ25	聚四氟乙烯	2	
2	85.10.01	阀体	ZG230 － 450	1	
1	85.10.02	阀体接头	ZG230 － 450	1	
序号	代号	名称	材料	数量	备注

部件名称	球阀 P_g4D_g25		第1张	1:1	28089	85.10.00
设计		制图		数量	共1张	比例	重量	
审核		描图						
批准		校对						

图 10-2 球阀装配图

技术要求

1. 轴衬最大单位压力 $P = 40$ MPa。
2. 轴衬与轴颈的最大线速度 $V_{max} = 8$ m/s。
3. 轴衬与轴颈的接触要好，装配时要进行修刮。

序号	代号	名称	材料	数量	备注
7	GB6172-86	螺母M10		4	
6	GB8—88	螺栓M10×90		2	
5	85.11.05	轴承盖	HT150	1	
4	85.11.04	上轴衬	ZCuAl10Fe3	1	
3	85.11.03	导管	Q235—A	1	
2	85.11.02	下轴衬	ZCuAl10Fe3	1	
1	85.11.01	轴承座	HT150	1	

部件名称	滑动轴承				第1张	1:1			85.11.00
设计		制图			数量	共1张	比例	净重	
审核		描图							
批准		校对							

图 10-3　滑动轴承装配图

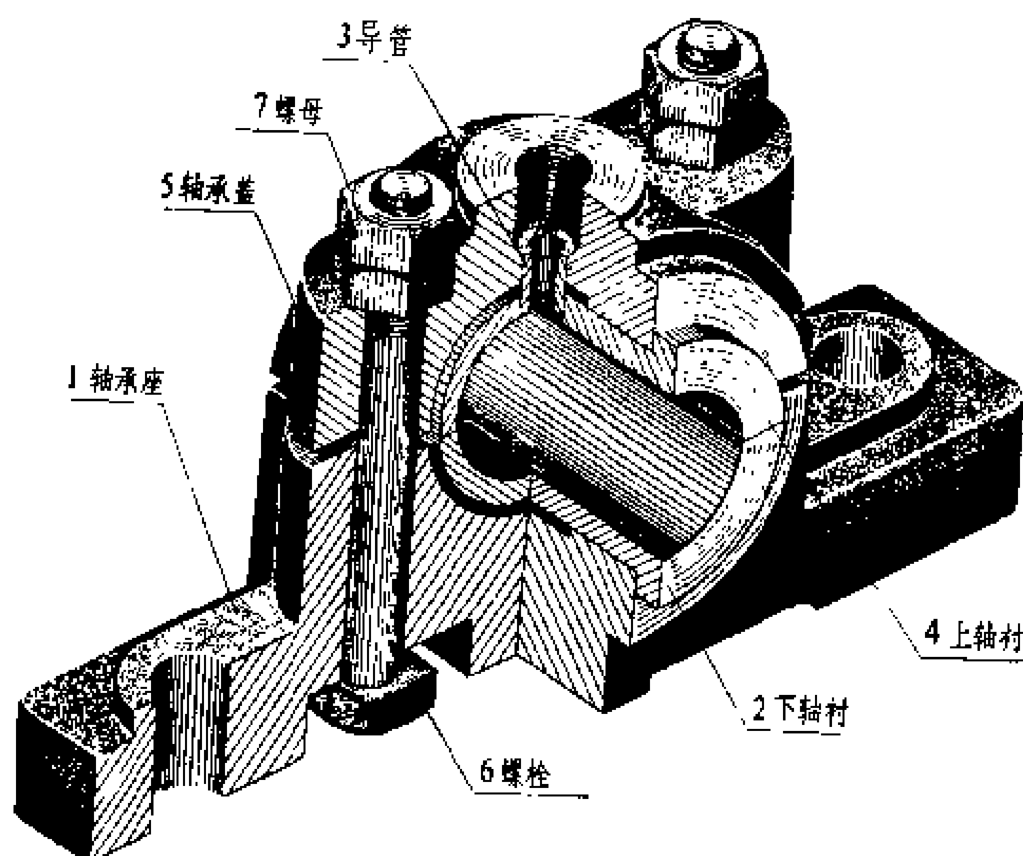


图 10-4　滑动轴承轴测图

2. 单独画法

有时需要清楚地表示出某个零件的结构形状，而又不必画出整个部件在这个方向的视图，可单独画出该零件的视图，但必须在所画视图的上方注出“零件 ×× 向”，表明该图形所示零件的序号和投影方向，如图 10-6c 和图 10-2 零件 11 的 *A* 向视图。

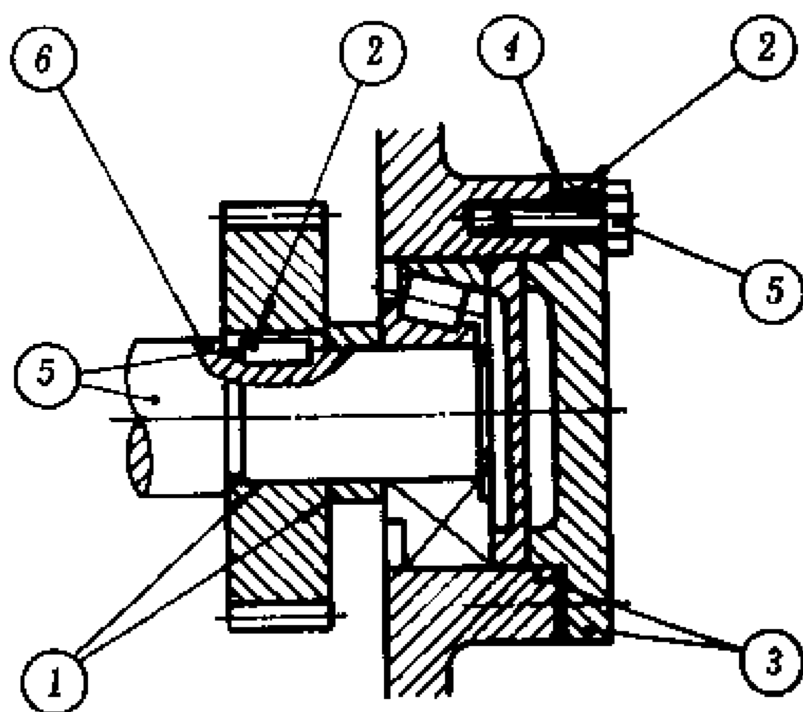


图 10-5　装配图的规定画法

3. 假想表示法

(1) 当需要表达所画部件与相邻零件或部件(不属所表达部件)的关系时，可用双点划线画出其轮廓线，如图 10-6b。

(2) 当需要表达运动零件的极限位置时，可将运动件画在一个极限位置上，另一个极限位置用双点划线表示，如图 10-2 手柄在俯视图上关闭球阀的极限位置用双点划线画出。

4. 夸大画法

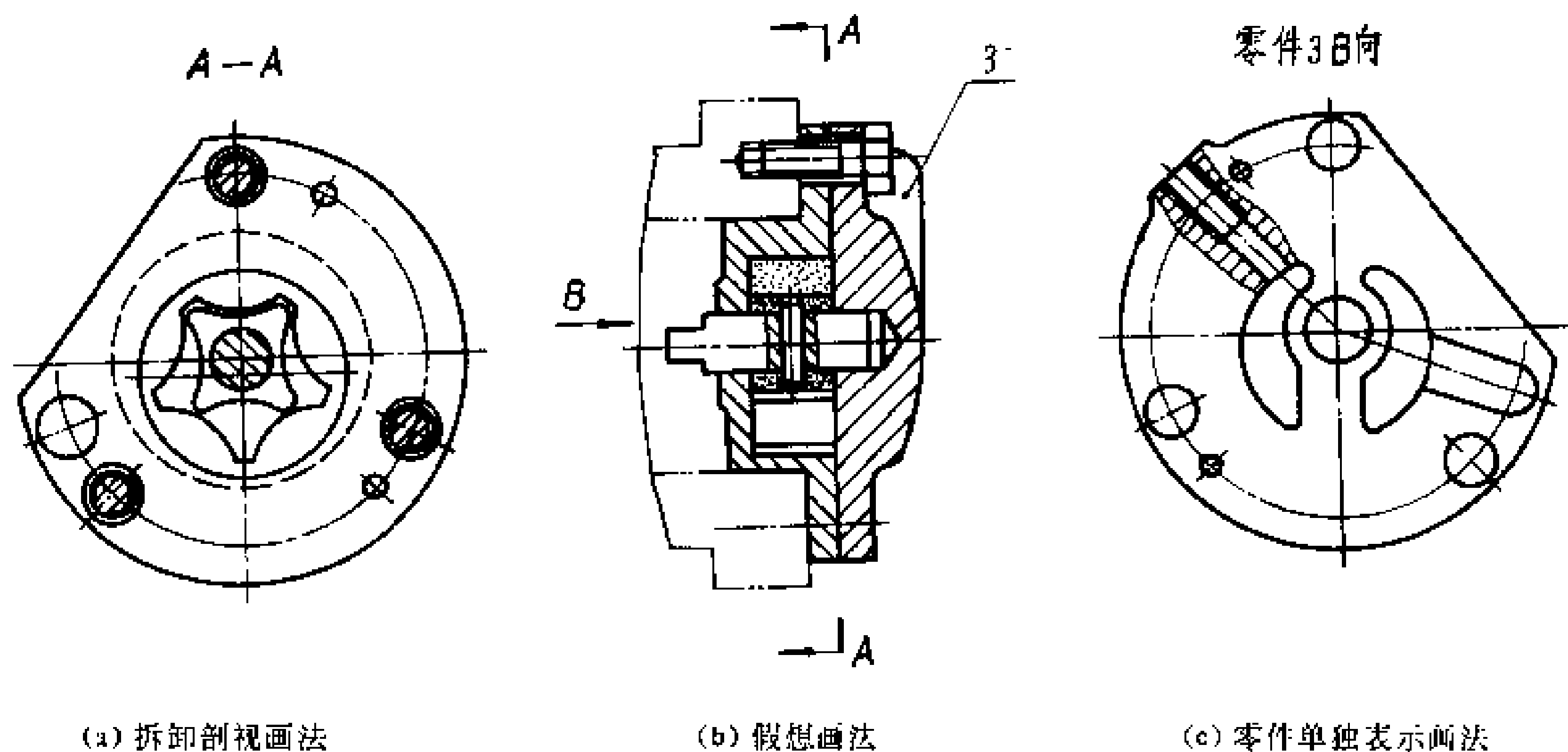
在装配图中，如绘制厚度很小的薄片、直径很小的孔以及很小的锥度和斜度时，该部分可不按原比例而夸大画出，如图 10-2 的垫片等。

5. 简化画法

装配图中应用的简化画法主要有下面几种：

(1) 对于装配图中的螺栓连接等若干相同零件组，允许仅详细画出一处或几处，其余用点划线表示中心位置，见图 10-2 中螺柱连接。

(2) 在装配图中，当剖切平面通过某些标准产品的组合件，或该组合件已在其他视图上表示 清楚时，可以只画出其外形图，如图 10-7 的油杯组合件。装配图中的滚动轴承允许采用第 8



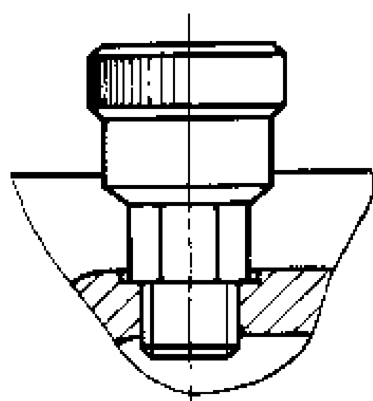
(a) 拆卸剖视画法　　(b) 假想画法　　(c) 零件单独表示画法

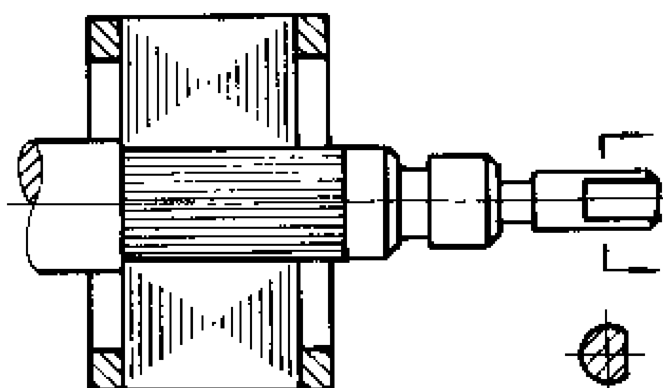
图 10-6　转子泵装配图中采用的特殊画法

章表 8-9 中的简化画法。

(3) 在装配图中，零件的工艺结构，如小圆角、倒角、退刀槽等可简化不画。

(4) 在电枢、定子、变压器、散热器及其他类似部件的装配图中，片束或元件束、绕组及其他组合件应作整体物件表示，如图 10-8。


图 10-7　油杯组合件的表示法


图 10-8　片束的表示法

(5) 在锅炉、化工设备装配图中可以用点划线表示密集的管子，如图 10-9。

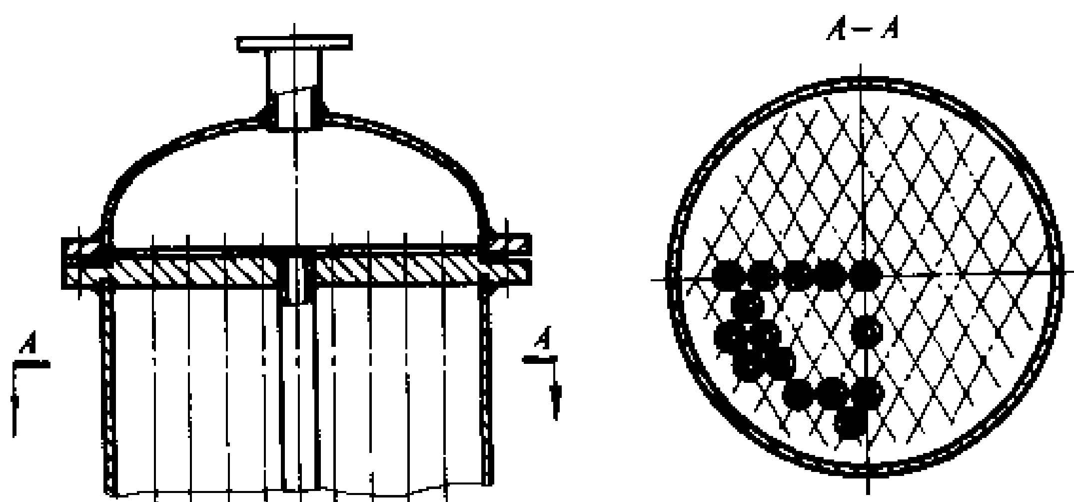


图 10-9　密集管子的表示法

10.3　装配图的尺寸注法

装配图上标注哪些尺寸是根据装配图的作用决定的。通常应标注出与机器或部件的性能、

规格、装配、安装、运输有关的尺寸。装配图上要注出的尺寸大体可分为以下五类：特性尺寸、装配尺寸、安装尺寸、外形尺寸及其他重要尺寸。

1. 特性尺寸

特性尺寸指部件的性能和规格尺寸。根据使用要求，这类尺寸画图之前已确定，是设计的一个主要依据。如图 10-2 中的尺寸 $\phi25$，R_c1 就是表示球阀的规格尺寸，表明这种球阀是用在孔径为1英寸(25.4mm)的管子上。又如图 10-3 中的尺寸 $\phi30H7$ 表示滑动轴承所配用轴的公称直径为 $\phi30$。

2. 装配尺寸

为了保证装配体的性能，在装配图上需注出零件间的配合尺寸、主要的相互位置尺寸及装配时需加工的尺寸，作为设计零件及装配零件的依据。如图 10-3 中的 $\phi40H8/k7$，$50H9/f9$，$\phi10H9/f9$，$70H9/f9$ 等均为配合尺寸；尺寸 65 为主要的相互位置尺寸。

3. 安装尺寸

将部件安装到其他零、部件上，或将机器安装到使用地点的基础上所必需的尺寸。如图 10-3 中的安装面积大小，螺钉通孔中心位置及孔径等尺寸 $\phi14$，25，140，40 等。

4. 外形尺寸

表示机器或部件的总长、总宽、总高，为机器或部件的包装、运输和安装使用提供了所占空间的尺寸。如图 10-3 中的尺寸 180，105，60 都属于外形尺寸。

5. 其他重要尺寸

这类尺寸有主要零件的一些计算尺寸、螺纹尺寸、啮合齿轮中心距、偏心距、运动零件极限位置尺寸等。如图 10-2 中 $M27 \times 1.5 - 7H/7g$ 是螺纹尺寸。

以上所列五类尺寸，彼此并不是孤立的，实际上有的尺寸往往同时具有几种不同的含义。例如图 10-2 中的 R_c1 既是特性尺寸，又是安装尺寸。

10.4 装配图的零件序号、明细栏和技术要求

10.4.1 零件序号

为了便于看装配图，在装配图上必须对每种不同的零件进行编号，这种编号称零件的序号，用来指明各零件在装配图中的位置。同时，通过序号把视图和明细栏联系起来，这样看图时就能方便、全面地了解每一种零件的情况。

编注序号要做到依照顺序、排列整齐、布置匀称、清晰醒目。为此，必须遵守以下规则：

(1) 从表示该零件较明显的视图上画一引出线(细实线)，在引出线的起端画一小黑圆点，点在被编零件的投影区域内；在引出线的另一端(必须在视图轮廓以外)，用细实线画一短横线或小圆，供填写零件序号用，如图 10-10a。序号字高比该装配图中所注尺寸数字高度大一号或两号。

对于薄片或细小零件，在投影区域内无法画出小黑圆点时，可在引出线的起端画一箭头，指向所编零件的投影轮廓，如图 10-10b。

(2) 引出线彼此不能相交，并尽可能少穿过其他零件的投影区域。当引出线通过有剖面线的区域时，不应与剖面线平行。也不要将引出线画成垂直线和水平线。

(3) 需要时，引出线可画成折线，但只允许折一次，如图 10-10(c)。

(4) 对于相同的几个零件，一般只要从一处引出，只编一个序号。

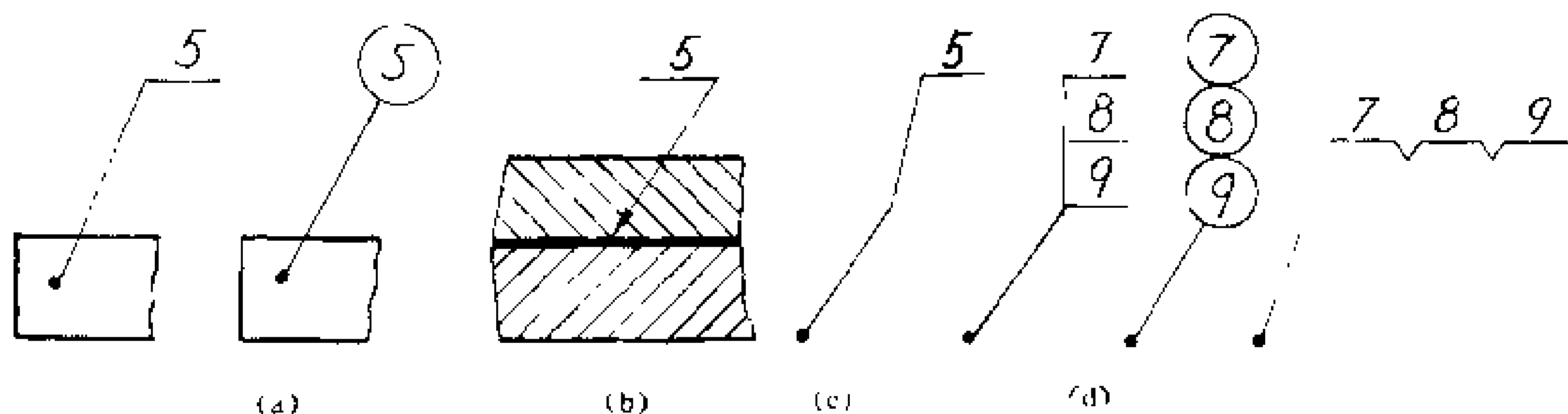


图 10-10　序号的编注方法

(5) 对一组紧固件或是装配关系清楚的零件组，可以采用公共引出线，如图 10-10(d)。

(6) 零件序号沿水平或垂直方向排列整齐、按序注写，其顺序可按顺时针或逆时针方向排列，参看图 10-2 和图 10-3。

10.4.2　**明细栏**

明细栏是装配图中全部零件的详细目录，内容有序号、代号、名称、材料、数量及备注等。明细栏画成表格形式，应紧靠在标题栏的上方，如图 10-2。如果标题栏上方地位不够时，可将其余部分排列在标题栏的左边，如图 10-3。明细栏和标题栏的格式见第 1 章和附录。

明细栏中的零件序号，按顺序由下而上填写，以便必要时可增加零件项目。在生产实际中常把明细栏与装配图分开，单独画在另一图纸上，与其他图纸装订成册，作为装配图的附件，这时零件序号应按顺序由上向下填写。

填写标准件的名称时，还应注写出规格尺寸，如“螺栓 $M6 \times 16$”、“键 18×100”等。并将标准代号填入代号栏中。

材料一栏填写材料牌号，标准紧固件和部(组)件一般不填材料。

明细栏中的“数量”，是指装配图所表示的部件或机器中相同零件的数量。

为了便于生产管理，对部件中所有一般零件都应编代号，在代号栏中列出。

10.4.3　**技术要求**

装配图上的技术要求，一般包括下列三方面的内容：

(1) 装配过程中的技术要求。如装配前清洗，装配时加工，指定的装配方法，装配后必须保证的精度等。

(2) 检验、试验过程中的技术要求。如检验、试验的条件、方法和质量要求等。

(3) 使用要求。如产品的基本性能、规格及使用时注意事项等。

上述技术要求的内容，应注写在标题栏上方或左方，并在标题“技术要求”下逐条编号，如图 10-2 和图 10-3。

10.5　装配结构简单介绍

在设计、画图过程中，要仔细考虑机器或部件的结构，分析在这种结构情况下，是否能保证达到机器或部件的性能要求，零件的加工和装配是否方便。否则，不能保证机器或部件的装配质量，给零件加工、装配和拆卸带来困难。下面用正误图例对照，以列表形式简单介绍装配结构问题，以供画装配图时参考。

表 10-1　装配结构简单介绍

内　　容	正确图例	错误图例	说　　明
端面接触时的结构			轴和孔配合并有端面互相接触时，孔边要倒角或轴边要切槽，以保证端面能接触良好。
同一方向的平面接触只能是一对			两个零件在同一方向只能有一对接触面，这样便于装配又降低成本。
同一方向的圆柱面接触只能是一对			同上。
填料压盖结构的画法			填料压盖密封结构不应画成右图所示，因右图中的压盖端面已压在座上，填料就压不紧，失去了密封防漏作用。 右图中双头螺柱的连接画法也是错误的。

10.6　画装配图

10.6.1　了解、分析所画的对象

在进行产品设计时，首先应根据设计要求进行调查研究，拟定结构方案，并作必要的计算，然后即可开始画装配图。画图的过程中，还要对各部分的结构不断完善，因此，画装配图的过程是设计过程的继续。

对现有机器进行测绘画装配图，也要先搞清机器的用途、工作原理、零件间的装配关系及相互位置，然后才能着手绘图。

10.6.2 确定表达方案

选择表达方案时，首先选择主视图，然后选择其他视图，在画图的过程中如果发现问题，还可以进行适当的调整。

主视图的选择要求是：能清楚地反映出与工作原理有关的主要装配关系和主要结构形状，并尽可能地按它的工作位置放置。在主视图上未表达出来或表达不清楚的装配关系和结构形状，要选择适当的其他视图清楚地表达出来。

10.6.3 画图步骤

(1) 按照选定的表达方案，根据所画对象的大小，决定图的比例、各视图的位置以及图幅的大小，画出边框线并定出标题栏和明细栏的位置。

(2) 画各视图的主要轴线和基准线。例如传动件(轴)或支承件(体)的中心线、对称线或主要端面的轮廓线等。

(3) 画装配体上的主要零件。例如先画主体或者画装配干线上的主要零件，把它们作为画其他零件的基础。这样既能正确画出零件之间的装配关系，又能提高画图速度。

(4) 画细小零件和结构，如螺纹、弹簧、键、倒角等，画出全部视图底稿。

(5) 画剖面线(注意画剖面线的基本规则)，标注尺寸及公差配合等。经校核无误后，按线型规格对图线进行加深。

(6) 编注零件序号，填写明细栏、技术要求。经过最后校核，在标题栏中签名和写明日期。

画装配图时应该注意：零件的顺序及安放的位置，有投影关系的各个视图要联系起来画，这样作图效果较好。

现以绘画柱塞泵的装配图为例加以说明。

1. 了解、分析所画的对象

图 10-11 是柱塞泵的装配示意图，图 10-12 是柱塞泵的轴测分解图。图 10-13a,b,c,d 是柱塞泵的全套零件图。柱塞泵是某一设备上的润滑油泵。装在泵体内的柱塞因连套的带动而往复运动，当柱塞向左移动时，泵体内压力低于大气压，这时装在管接头下方的下阀瓣打开，油从进油口流入泵体，这是吸油的过程；当柱塞向右移动时，柱塞压缩泵体内的润滑油，这时下阀瓣关闭，受压的润滑油顶开出油口的上阀瓣，这是加压输油的过程，柱塞不断地往复来回运动，就使润滑油被压入润滑系统，从而起到润滑设备的作用。

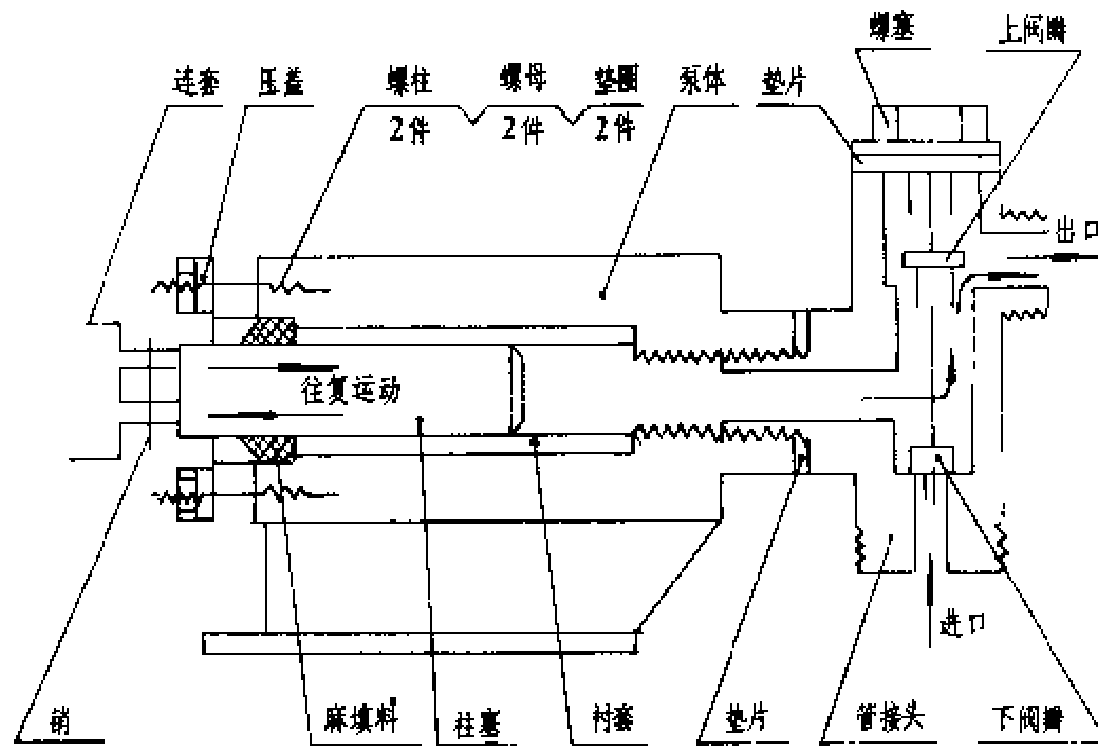


图 10-11 柱塞泵装配示意图

2. 确定表达方案

(1) 主视图选择　一般将部件按工作时的位置放置，选择最能反映部件的工作原理、装配关系和形状特征的那个视图作为主视图。柱塞泵的工作位置如图 10-11 所示，按此位置画出主视图并作剖视图，可以清楚地反映出连套、柱塞、泵体、衬套、压盖、管接头、上阀瓣、下阀瓣等零件之间的装配关系以及柱塞泵的工作原理。

(2) 其他视图选择　其他视图主要是补充表示那些在主视图上未表达出来或表达不清

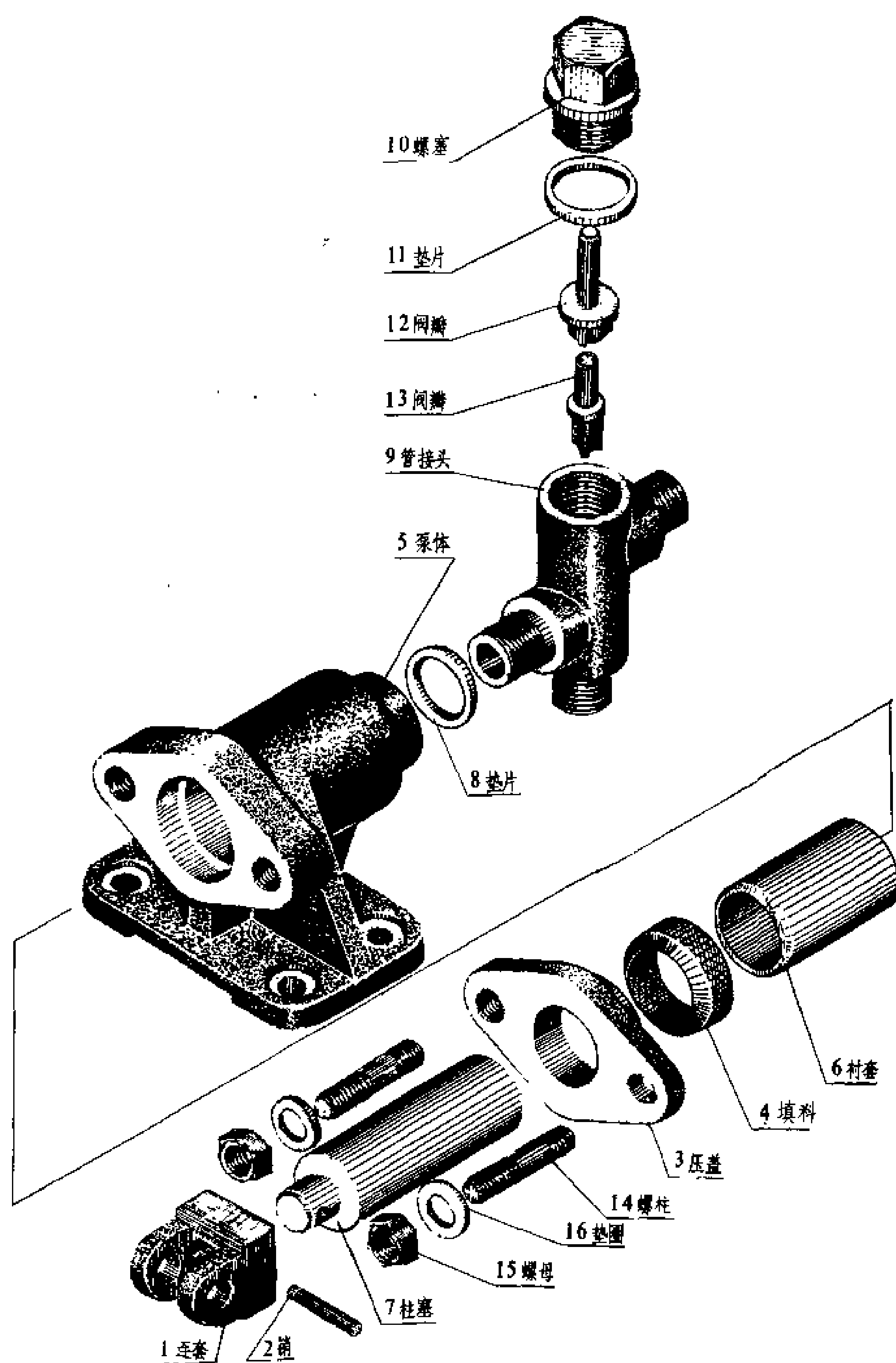


图 10-12 柱塞泵轴测分解图

楚的装配关系和结构形状。本例还需画左视图以补充表达柱塞泵的外形结构；俯视图除了补充外形结构外，还采用了一个局部剖视图表达螺柱的装配关系。另外还有两个单独画法，用来表达上阀瓣和下阀瓣的部分结构形状。

3. 画装配图

（1）按照选定的表达方案，根据所画对象的大小，决定图的比例、各视图的位置以及图幅的大小，先画出边框线并定出标题栏和明细栏的位置，再画出各视图的主要轴线和基准线，如图 10-14。

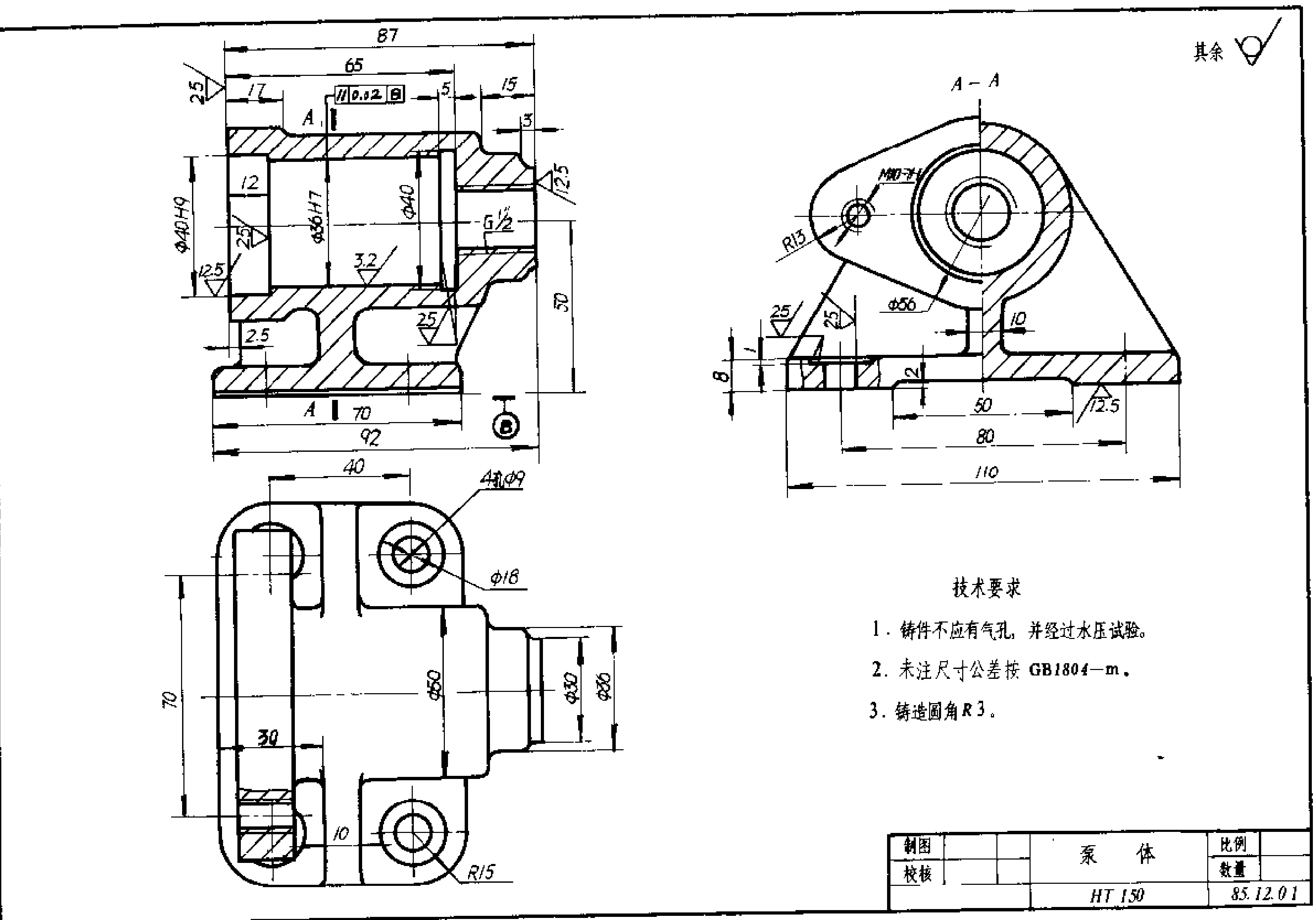
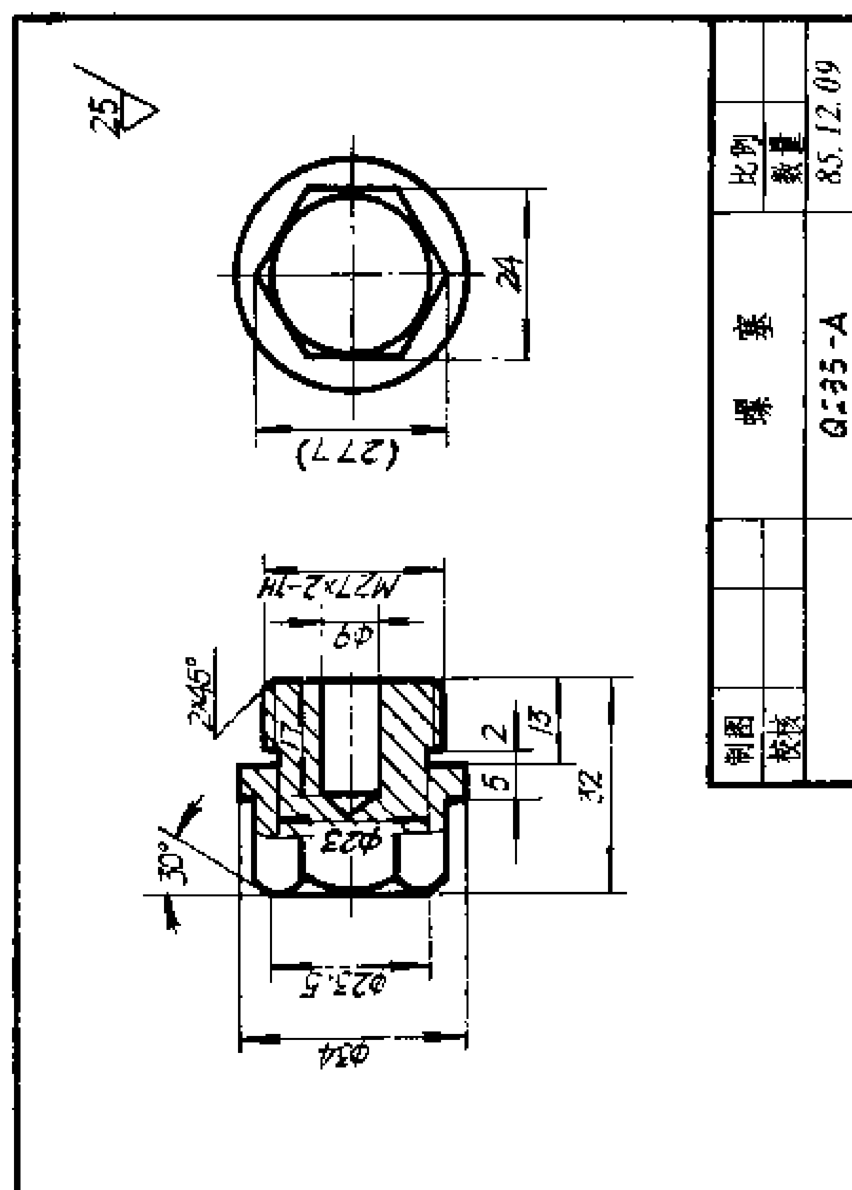
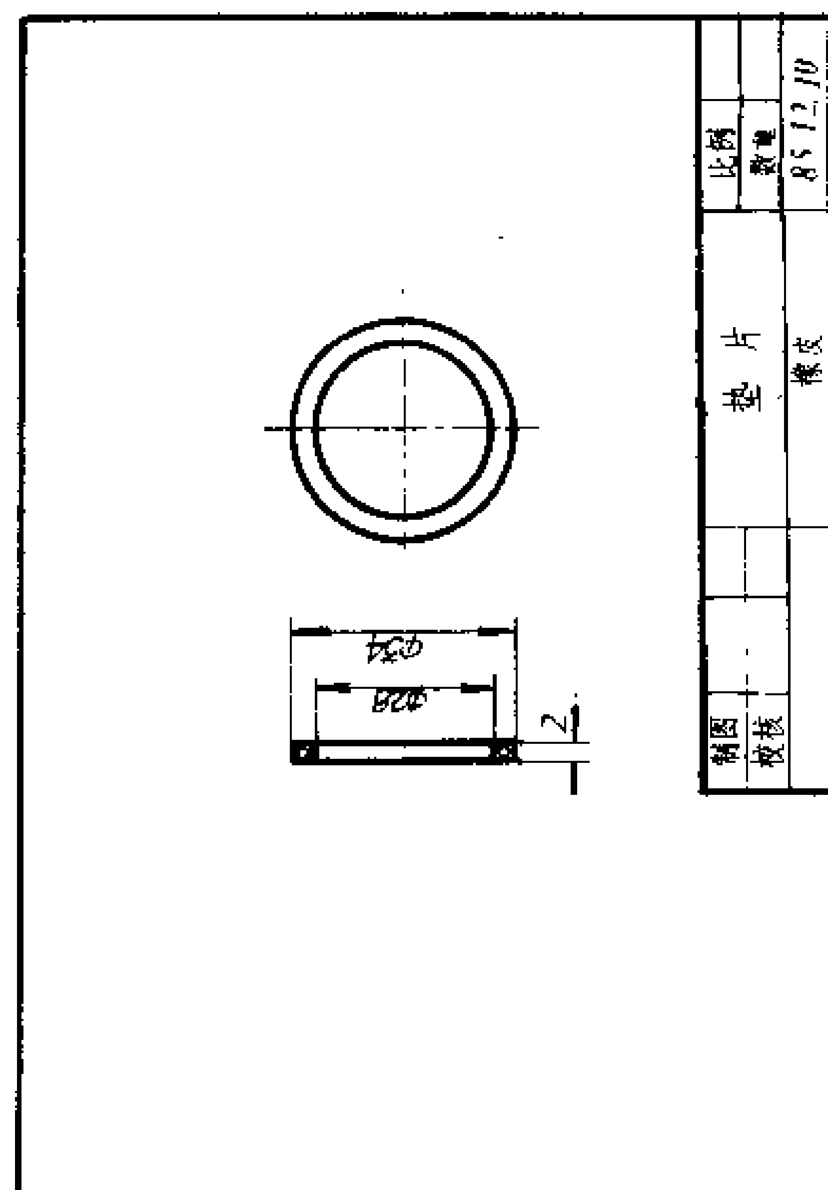
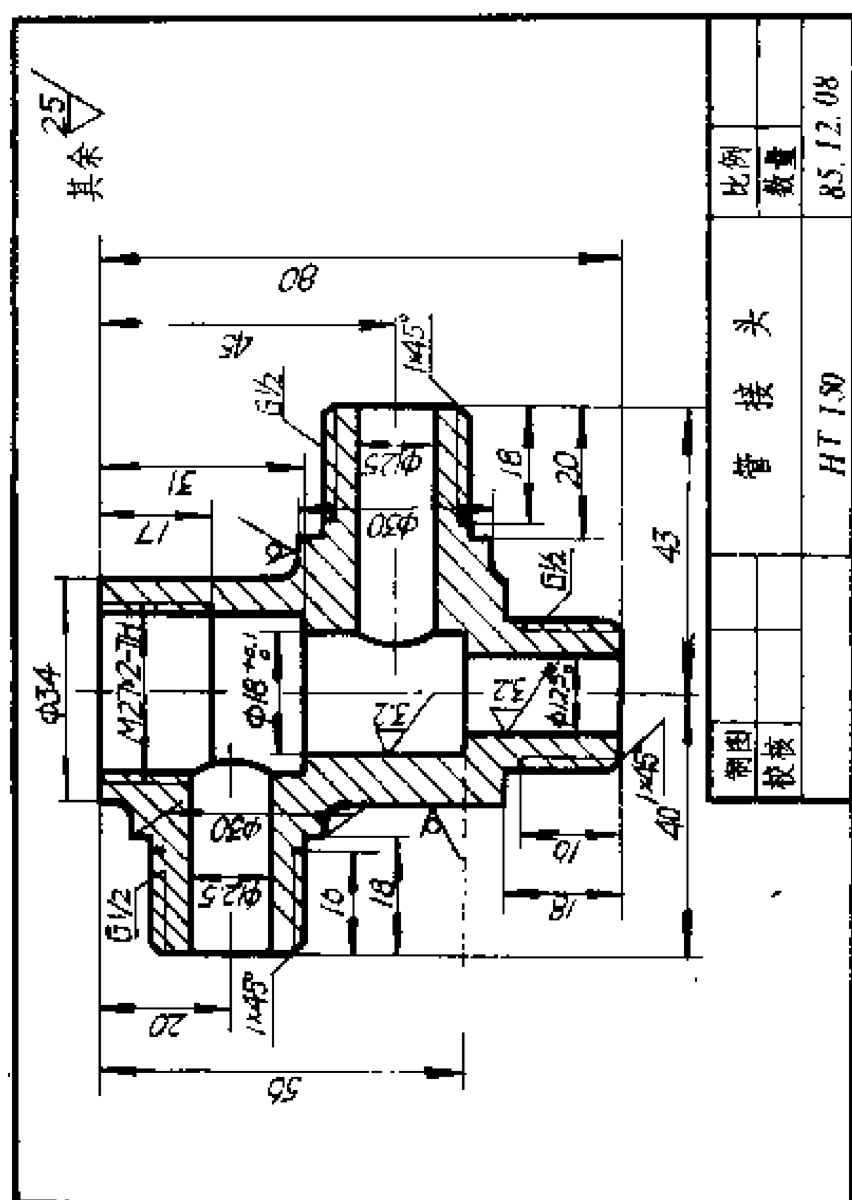


图10.13(a) 柱塞泵零件图







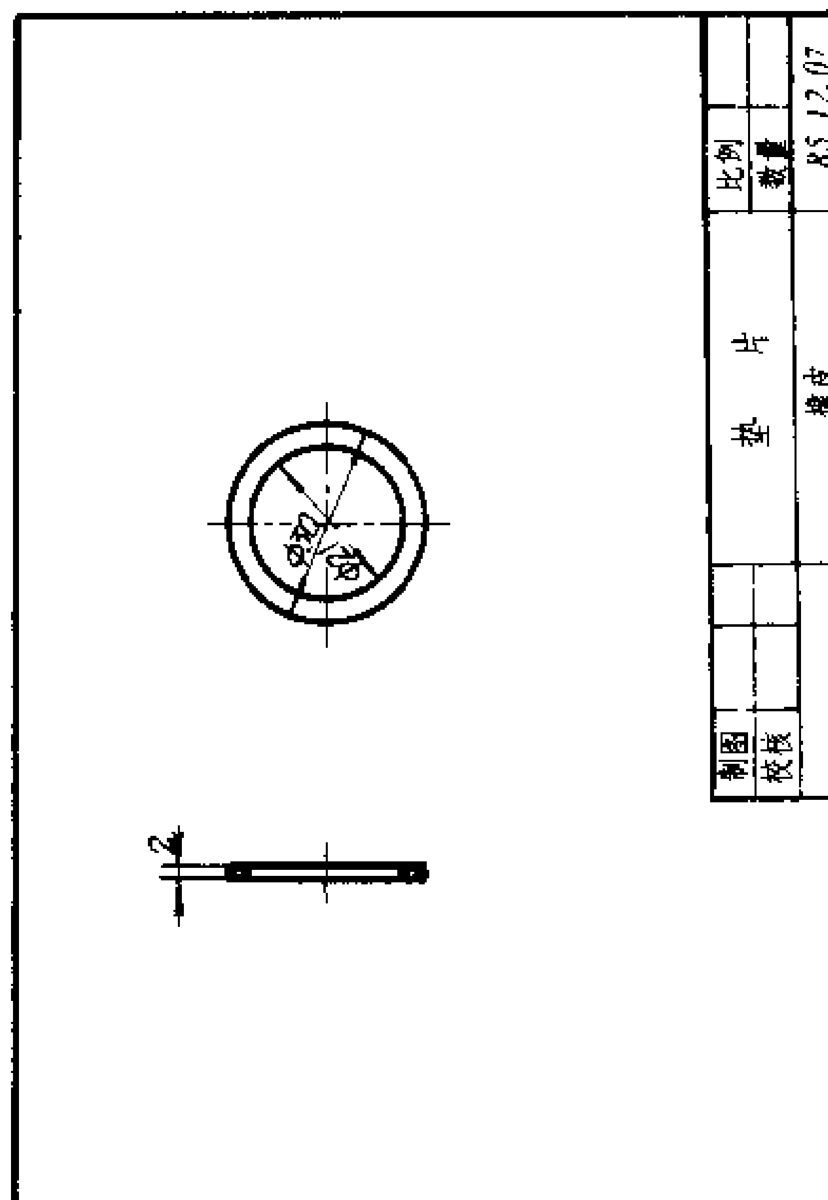
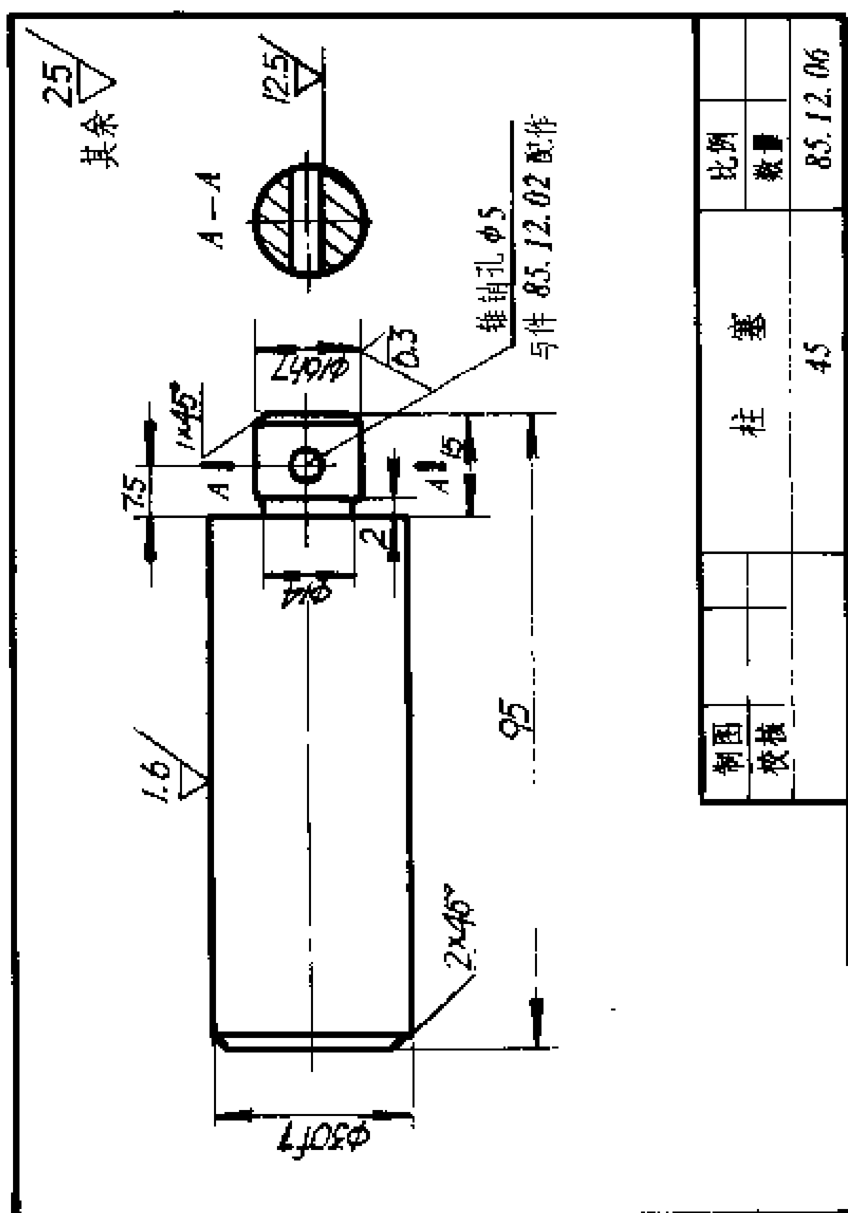
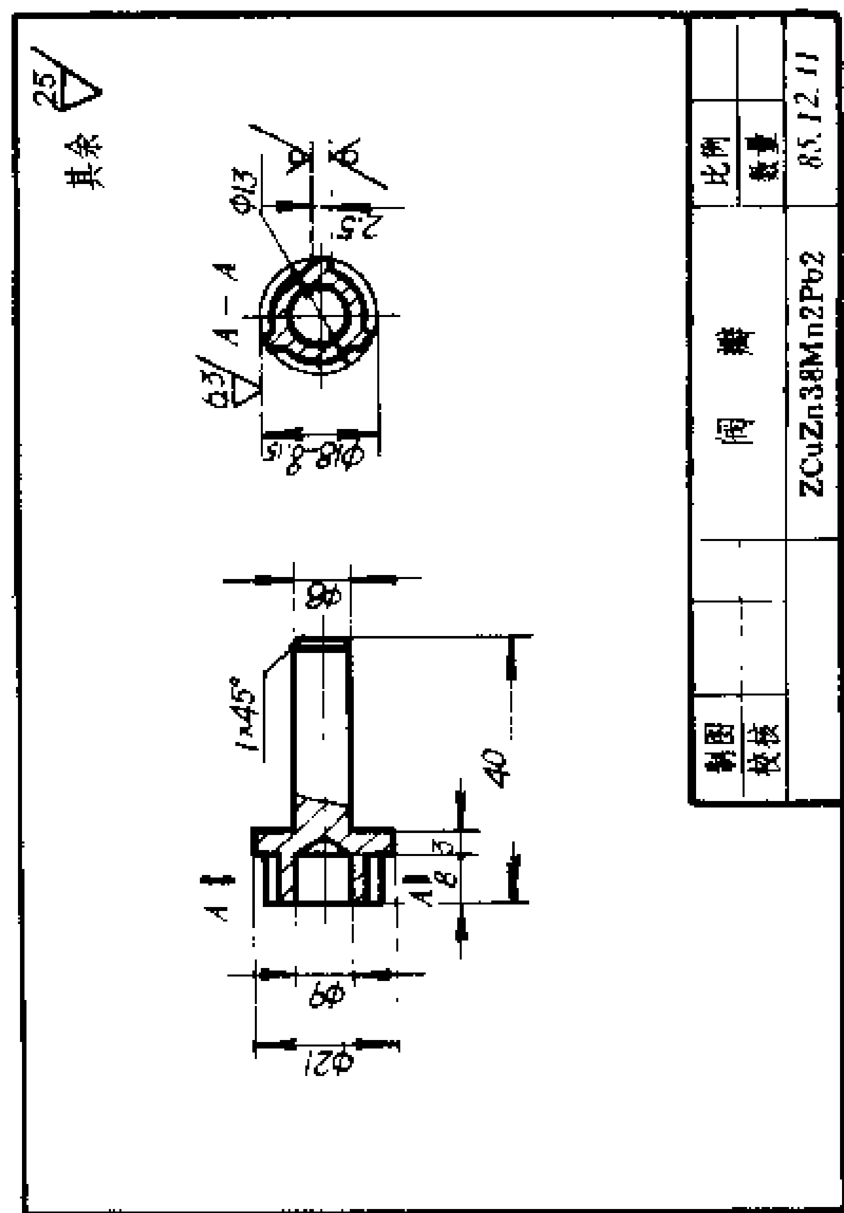
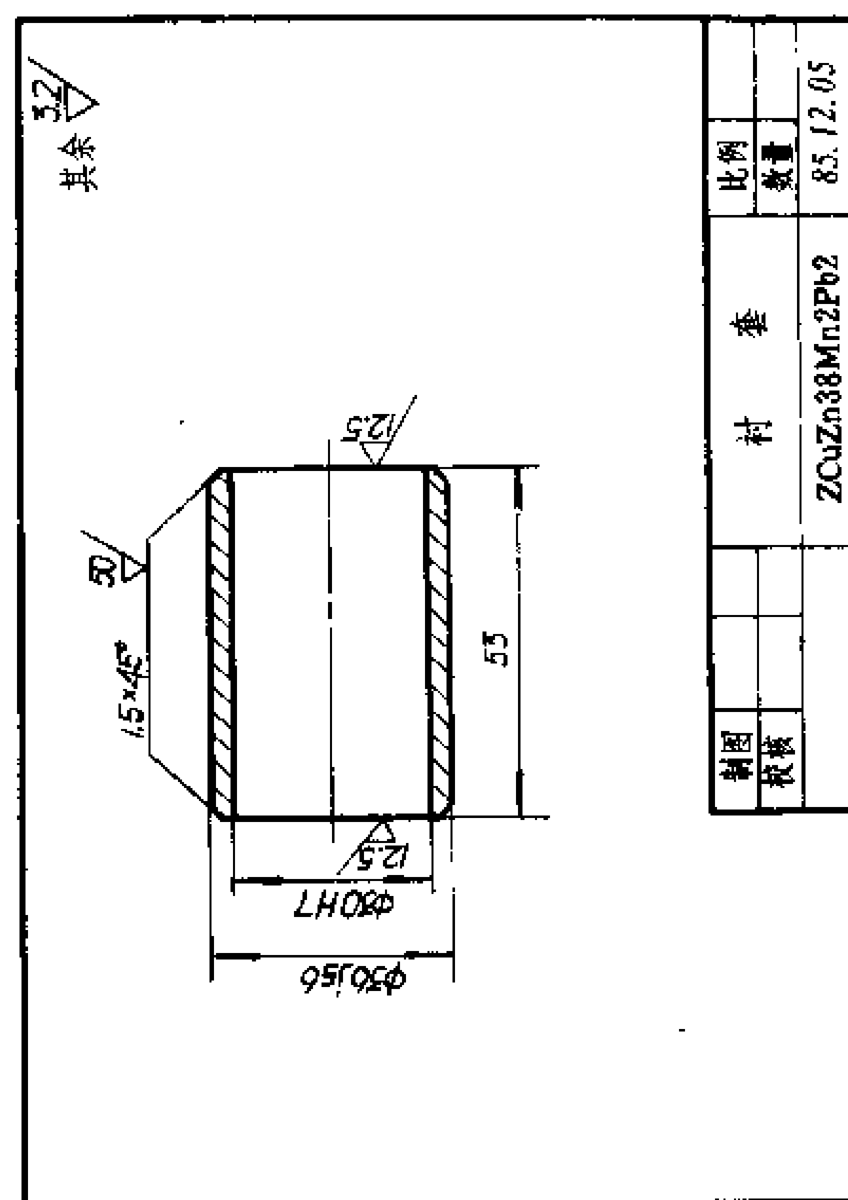


图 10-13(b)　柱塞泵零件图







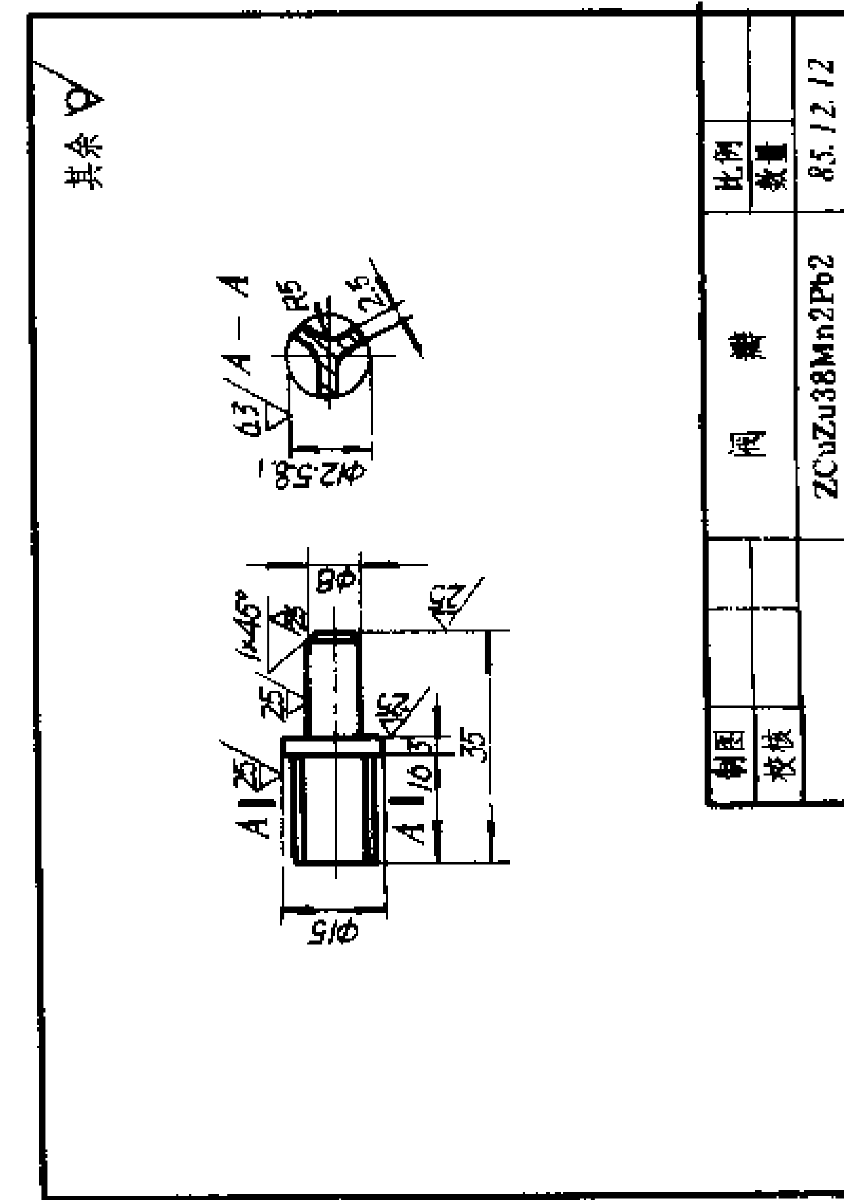


图 10-13(c)　柱塞泵零件图

图 10-13(d)　柱塞泵零件图

(2) 一般由外向内画，即先画装配体上的主要零件(这里先画泵体)，然后将其他零件按次序逐个画上去。在画每一部分时，有投影关系的各视图尽量联系起来画，如图 10-15。

(3) 画各零件的结构，基本完成底稿，如图 10-16 所示。

(4) 经检查后加深、注尺寸和公差配合等。最后编注零件序号，填写明细栏、技术要求。经过最后校核，在标题栏中签名并写明日期等，如图 10-17 所示。

10.7　看装配图

在工业生产中，从机器的设计到制造，都要用到装配图。在设计过程中，要按照装配图来拆画零件图；在装配机器时，要按照装配图来装配零件和部件；在技术交流时，需要参看装配图来了解工作原理和机械结构。

看装配图的目的，是从装配图中了解部件(或机器)的性能、工作原理、装配关系以及零件的主要结构形状

10.7.1　看装配图的方法和步骤

(1) 概括了解

从标题栏和有关资料，了解部件(或机器)的名称、主要用途以及零件性能要求等。并从其零件数目、比例大小，估计装配体的复杂程度和体积大小。

(2) 分析视图

了解装配图上各视图、剖视、剖面的投影关系及表达意图。在此基础上再分析下面两个问题。

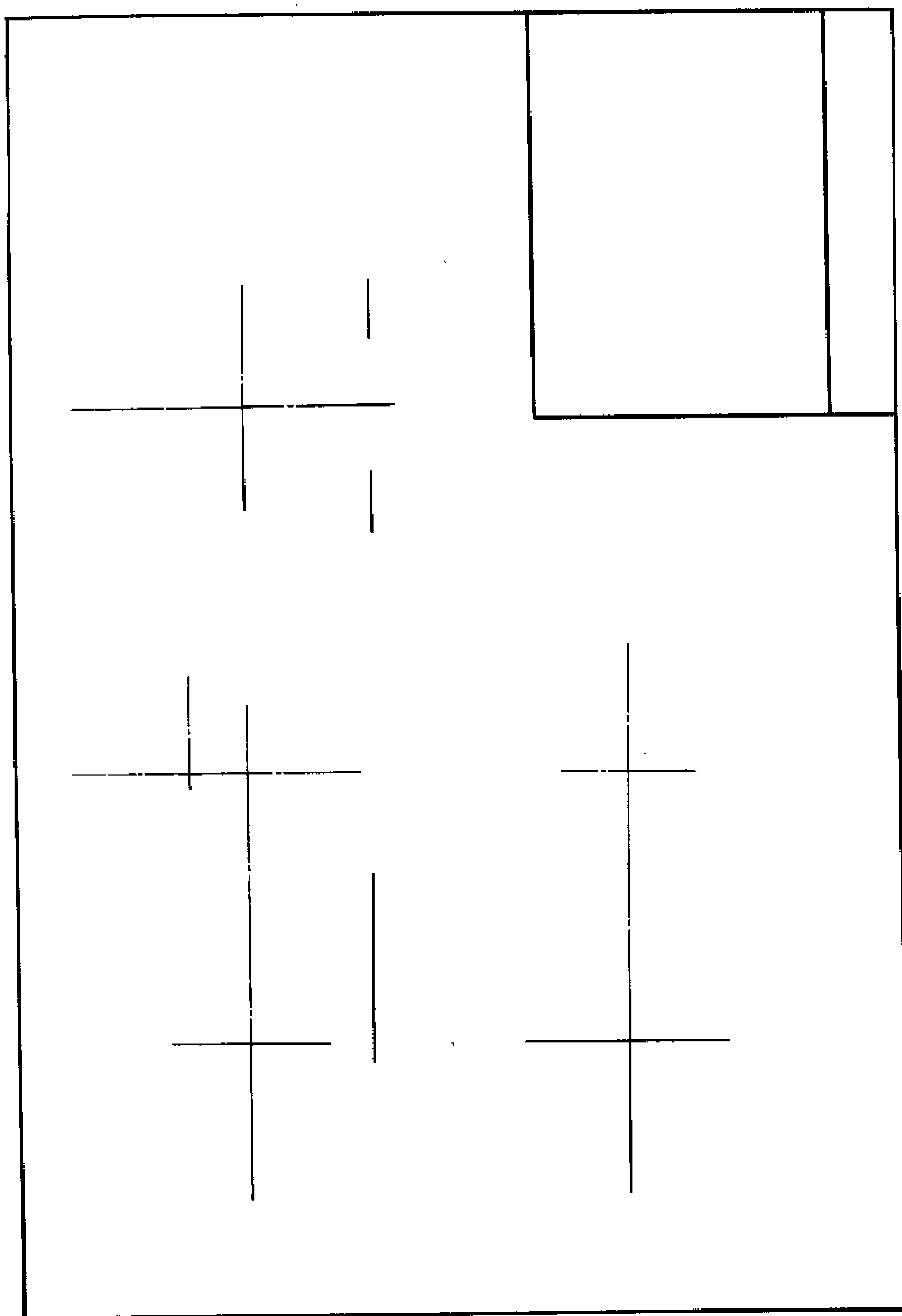


图 10-14　画出各视图的主要轴线和基准线

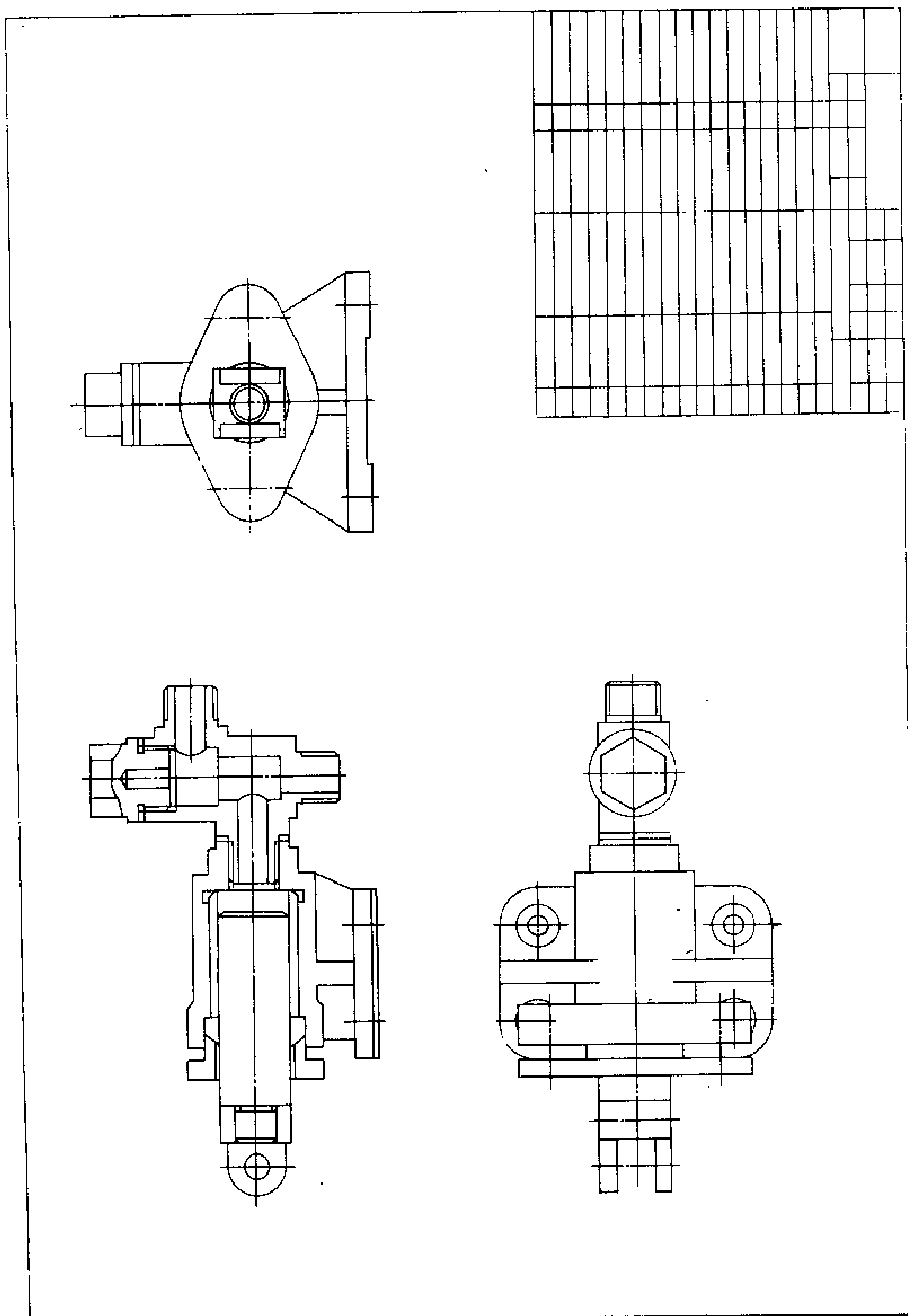


图 10-15　先画柱塞泵泵体，再画管接头、衬套、柱塞等零件

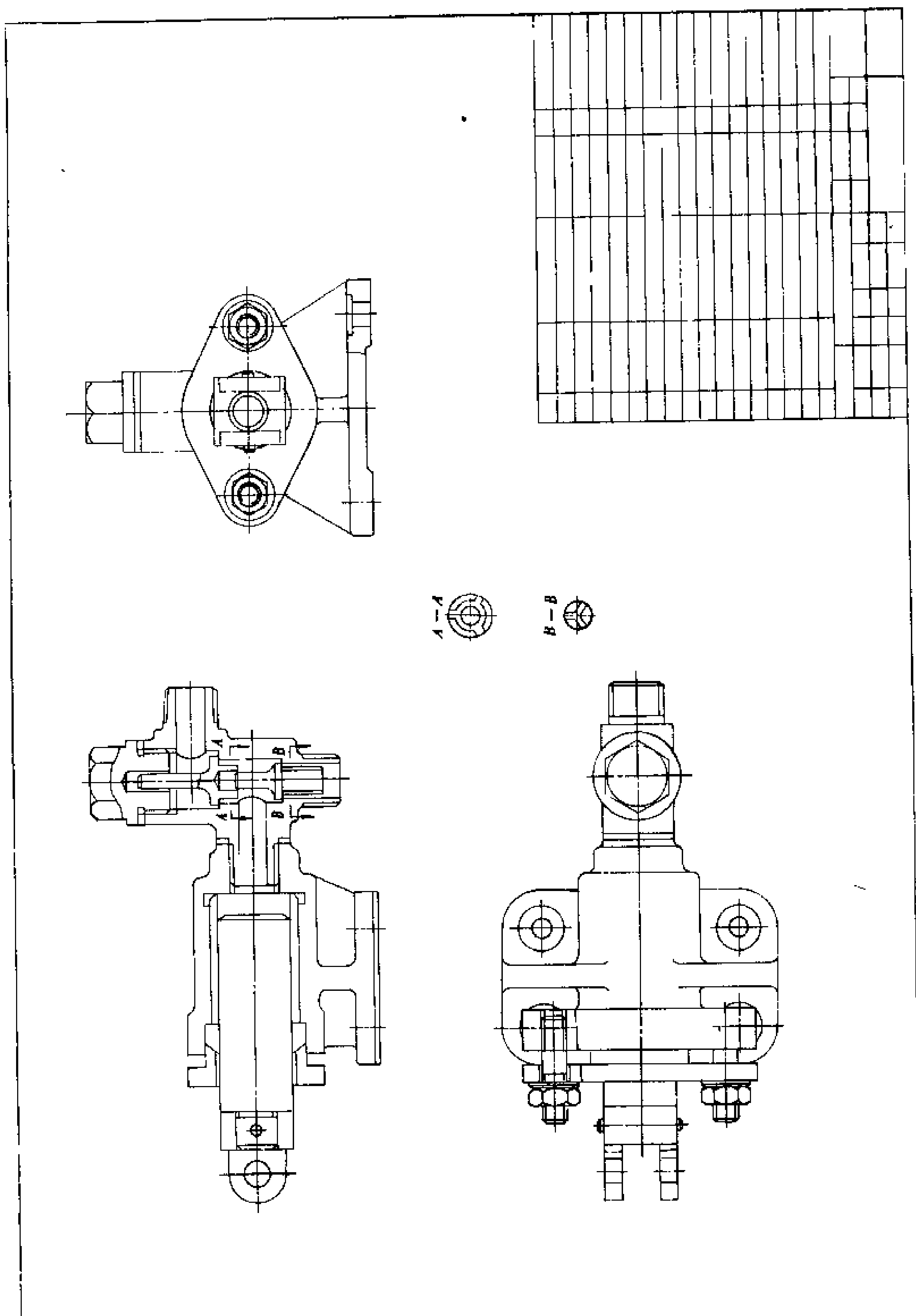
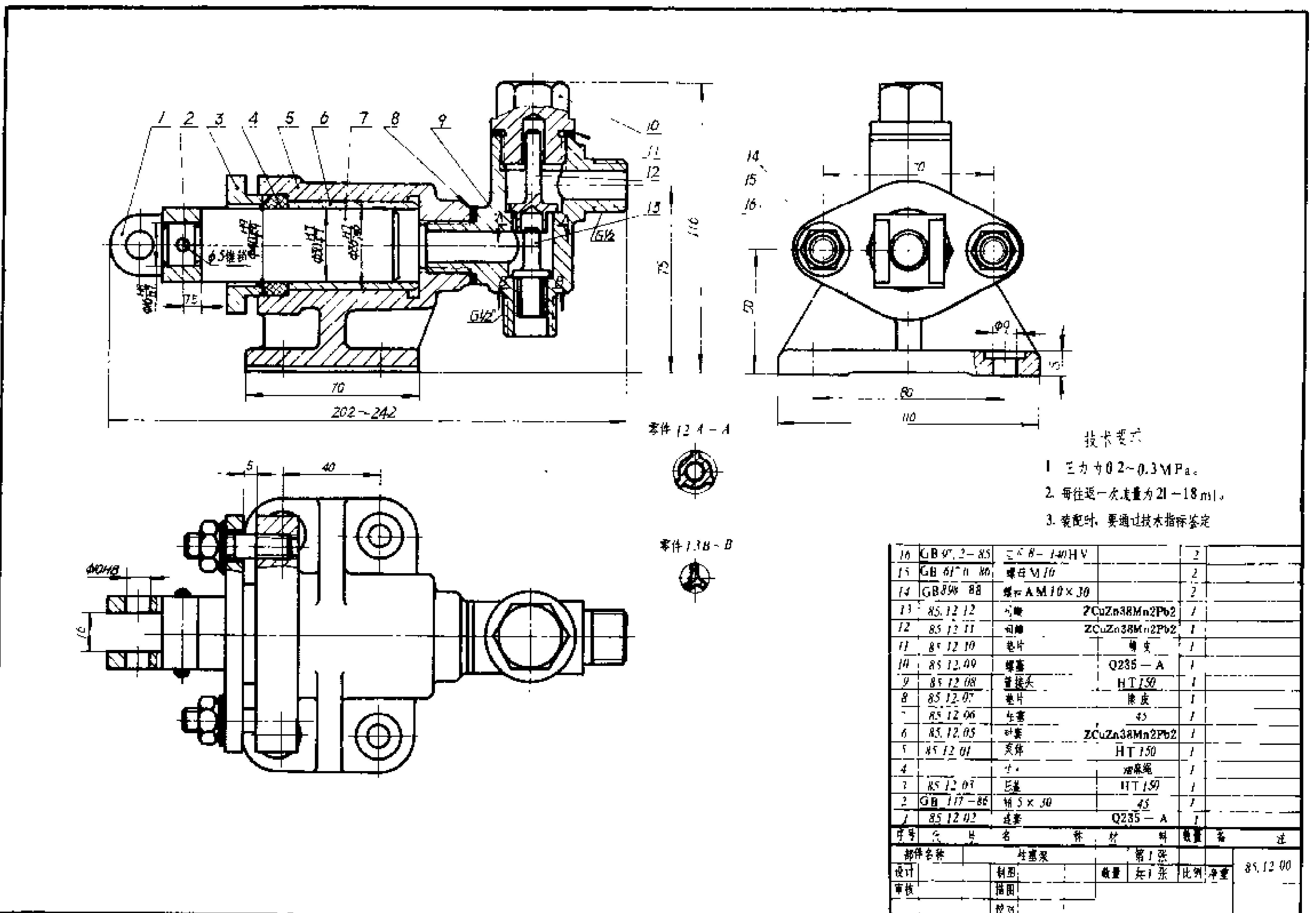


图 10-16　画各零件的细小结构，基本完成底稿



序号	代号	名称	材料	数量	备注
16	GB 97.2—85	垫圈 8—140HV		2	
15	GB 6170—86	螺母 M10		2	
14	GB898—88	螺柱 AM10×30		2	
13	85.12.12	[illegible]	ZCuZn38Mn2Pb2	1	
12	85.12.11	阀瓣	ZCuZn38Mn2Pb2	1	
11	85.12.10	垫片	[illegible]	1	
10	85.12.09	螺塞	Q235—A	1	
9	85.12.08	管接头	HT150	1	
8	85.12.07	垫片	橡皮	1	
7	85.12.06	柱塞	45	1	
6	85.12.05	衬套	ZCuZn38Mn2Pb2	1	
5	85.12.01	泵体	HT150	1	
4		[illegible]	油麻绳	1	
3	85.12.03	压盖	HT150	1	
2	GB 117—86	销 5×30	45	1	
1	85.12.02	连套	Q235—A	1	

部件名称	柱塞泵		第1张			85.12.00
设计		制图	数量	共1张	比例	净重
审核		描图				
		校对				

图 10-17　加深，画剖面线，注尺寸，编序号，填写标题栏和明细栏，完成装配图

(3) 分析工作原理及传动方式

根据有关视图并参阅有关说明资料，分析部件(或机器)的工作原理，搞清它的运行方式和运行系统。

(4) 分析装配关系和零件的结构形状

分析零件之间配合关系，了解连接、定位、密封和润滑的方法，弄清装拆次序和零件的结构形状。

以上的步骤不是绝对的，而是相互关连相互交错的。这里的介绍和下述的看装配图例子，仅作为学习时的参考。能否看懂装配图的根本问题，还是在于是否掌握投影原理和具有一定的机械知识及实际经验。

10.7.2 看装配图举例

例 10-1 看微调机构装配图

1. 概括了解

图 10-18 所示微调机构用于微调激光干涉系统中的参考反光镜，通过微调机构可使反光镜 1 平稳舒适地绕 Z 轴和 Y 轴作微量转动，以达到改变干涉条纹的间隔和方向的目的。从图上总体尺寸 45，55，55 和明细栏可以看出，这个部件的结构是比较简单而紧凑的。图 10-19 所示是微调机构的轴测分解图。

2. 分析视图

主视图 —— 采用全剖视图，目的在于表达反光镜 1 绕 Z 轴旋转的结构。

俯视图 —— 采用全剖视图，目的在于表达反光镜 1 绕 Y 轴旋转的结构。

左视图 —— 采用局部剖视图，这样既能表达微调机构部分的外形，又能清楚地表达微调机构中两个调整螺钉 7 的相互位置。

右视图 —— 着重表达微调机构的外形和一些结构形状。

$A-A$ 剖视图 —— 主要表达盘簧 9 的形状。

$C-C$ 剖视图 —— 主要表达盘簧 9 与反光镜座外套 2 的连接情况。

3. 分析工作原理

在此先把 Z 轴和 Y 轴的结构介绍如下：

Z 轴(主视图)—— 由反光镜座外套 2 和装在其中的两个螺钉 13(在主视图上)，形成了 Z 方向的轴线，这两个螺钉 13 的锥端刚好支承着反光镜调整圈 4，从而使反光镜座 5 通过螺钉 13(这两个螺钉在俯视图上) 带动反光镜调整圈 4 绕锥端螺钉 13(这两个螺钉在主视图上) 所形成的 Z 轴方向旋转。

Y 轴(见俯视图)—— 由反光镜调整圈 4 和装在其中的两个螺钉 13(在俯视图上)，形成了 Y 方向的轴线，两个螺钉 13 的锥端刚好支承着反光镜座 5。这样即可使反光镜座 5 绕着锥端螺钉所形成的 Y 轴方向旋转。

捻动装在前面的调整螺钉 7 时，即可获得 Z 轴方向的转动；而捻动装在上面的调整螺钉 7，则可获得 Y 轴方向的转动。其中调整垫片 3 的作用除在垫片磨损后可方便地调换外，还可在受力时易于对准中心位置。

四个螺钉 13 除了起到支承轴 Z 和 Y 以外，还可以用它们来调整反光镜 1 的中心。螺钉 12 和 14 起锁紧的作用。

4. 分析装配关系和零件形状

调整螺钉 7 装在反光镜座外套上，螺纹处的配合要研配以便使捻动时能平滑而舒适。为了

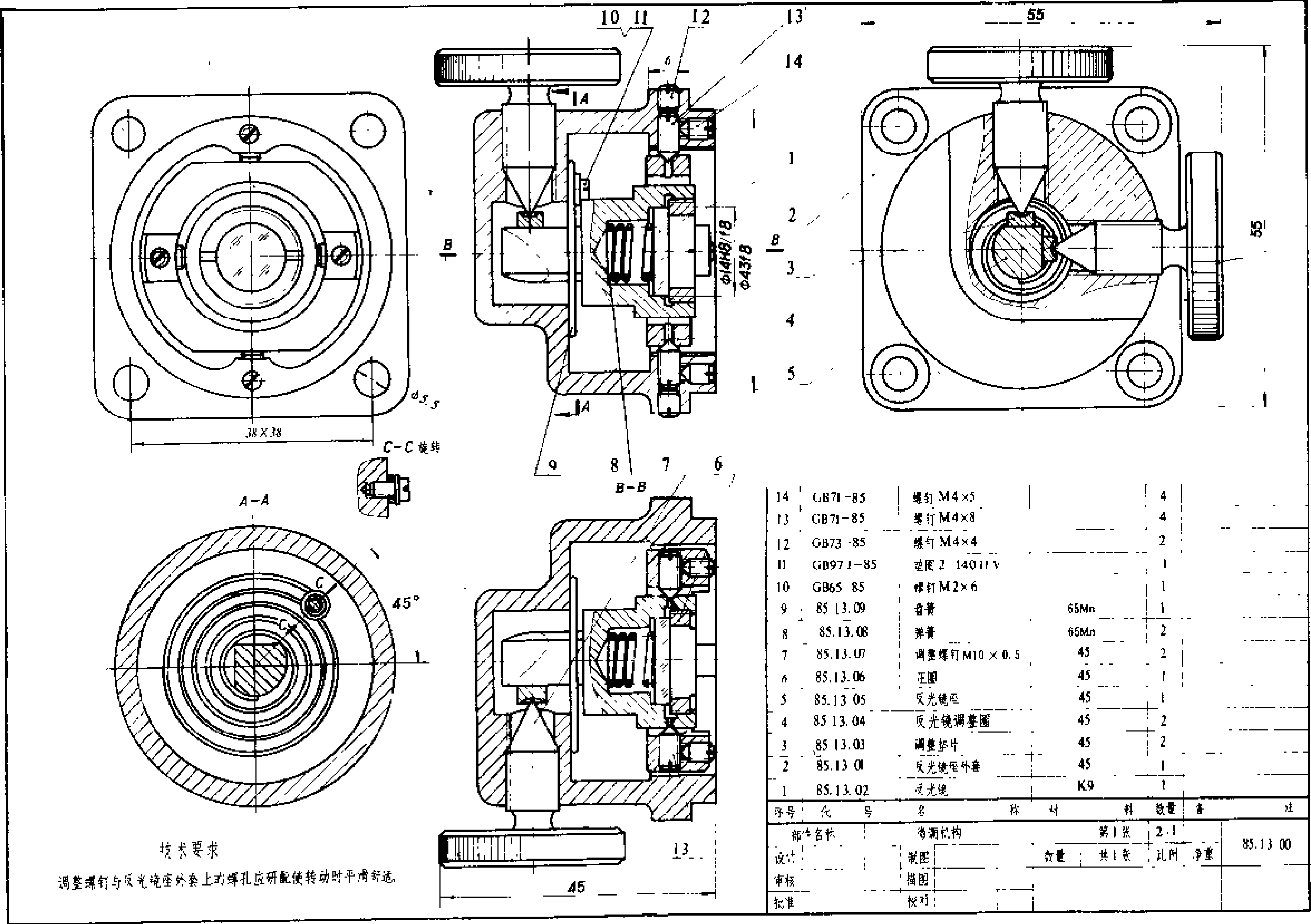


图 10.18 微调机构装配图

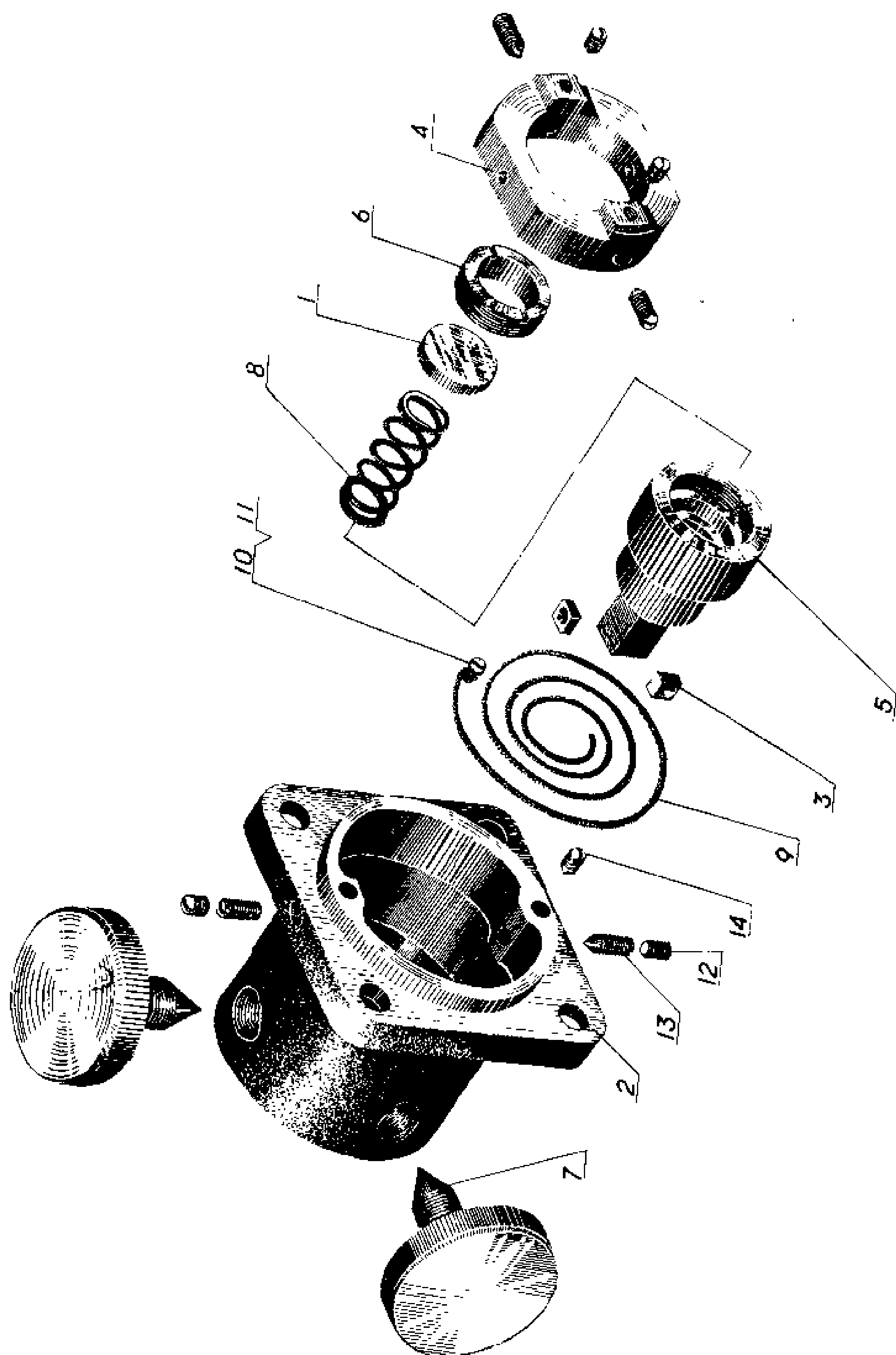


图 10-19　微调机构轴测分解图

保证 Z 轴和 Y 轴的轴线准确，因此在有关的轴孔中规定有同轴度的要求。

装配顺序是：首先把弹簧 8、反光镜 1、压圈 6 装在反光镜座 5 上。再把反光镜调整圈 4 套在反光镜座 5 上。旋上螺钉 13 和 14，然后把它们一起装到反光镜座外套 2 里去。此时反光镜座 5 的一端套在已装在反光镜座外套 2 的盘簧 9 中。于是再小心地用小钳子夹住调整垫片 3 放在反光镜座 5 上，旋上调整螺钉 7，最后再拧紧螺钉 12，13，14。

分析零件形状时，首先要把该零件从装配图中分离出来，具体的作法是：

(1) 从零件序号及明细栏，了解零件的名称和作用。根据装配图的规定画法，找出这个零件在主视图的投影范围。

(2) 运用投影原理，找出这个零件在其他视图上的投影范围。

以上两步在看图时是互相联系的。

(3) 根据分离出来的投影和零件的作用特点，想象出这个零件的形状。

现以反光镜座外套 2 为例，说明它从装配图中分离出来的过程，如图 10-20 所示。图 10-21 是反光镜座外套的零件图。

10.8 由装配图拆画零件图

由装配图拆画零件图，也称拆图。拆图是机器设计制造过程中的一个重要环节，是在看懂装配图的基础上进行的。拆图时要注意下列几点。

10.8.1 关于零件的视图选择

一般说来，一个部件所有零件的主要结构在装配图中均已表达清楚了。因此，在拆图时可以直接从装配图拆画出零件图。但要注意切忌照抄装配图中的零件视图，而是应该结合第 9 章中所讲述的零件图的视图选择原则，重新考虑零件的视图选择。

图 10-22 说明了图 10-18 微调机构中的反光镜座的视图选择。

10.8.2 确定未表达完整的零件结构

有时某一零件的某一个局部没有在装配图上表达清楚，画零件图时则一定要表达清楚，这时可以从该局部的作用，或从该局部与其相接触的零件形状中获得启发，从而确定该局部的形状。

10.8.3 增补省略的结构

在装配图中采用了简化画法，因此一些零件的细小工艺结构：如小倒角、圆角、退刀槽等，在装配图中往往不画或少画，在拆图时应全部补上。

如图 10-26 柱塞泵的泵体零件，在画零件图时增补了必要的倒角和省略了圆角（见图 9-12 柱塞泵体零件图）。

10.8.4 确定零件尺寸

装配图上已经标注的零件尺寸都应不加变动地在零件图上标注。凡注有配合的尺寸，应根据配合性质和标准公差等级，在零件图上注出配合部位的基本尺寸和公差带代号，或在基本尺寸后面注出极限偏差数值，或两者同时标注。

装配图上未标注的零件尺寸可从以下三方面得到：

(1) 一般尺寸按比例从装配图中直接量取，并取整数。

(2) 有关标准化的结构（如标准直径、标准长度、键槽、螺纹、倒角、退刀槽等），应查阅有关手册、标准，然后取标准数值。

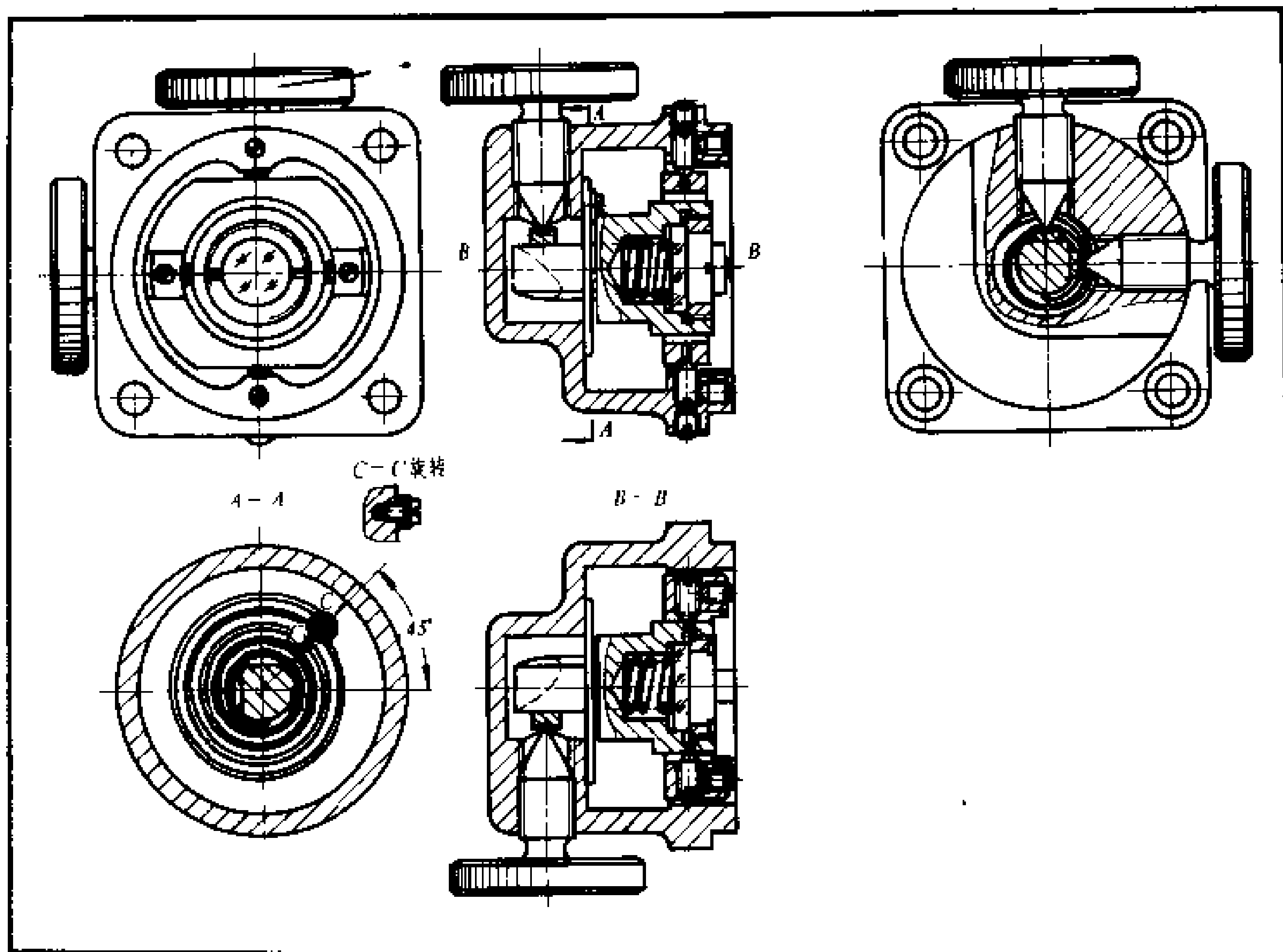


图 10-20(a)　在装配图中分离出反光镜座外套 2 的投影范围

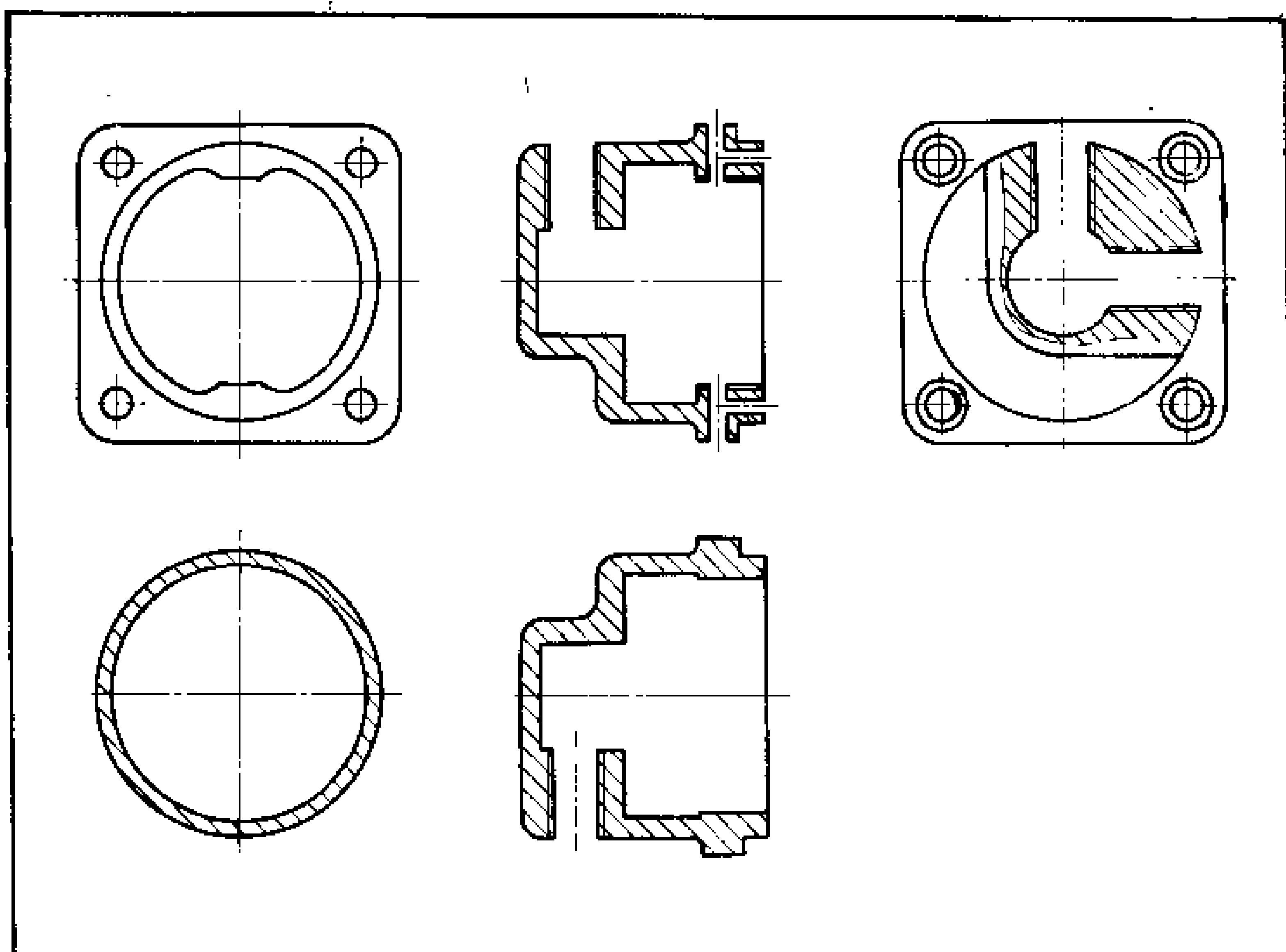


图 10-20(b)　将反光镜座外套 2 单独画出

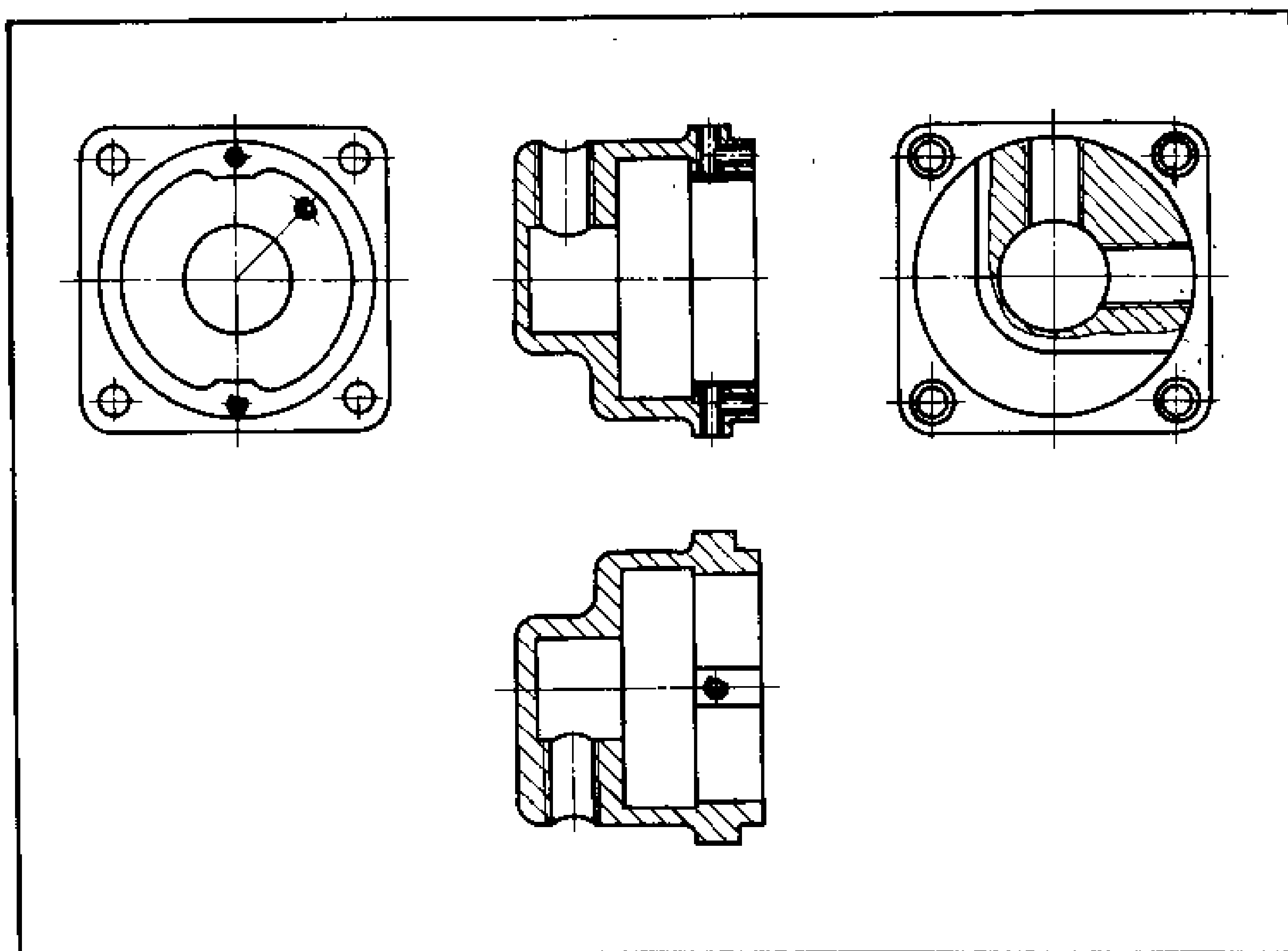


图 10-20(c)　把各视图上遗漏的线条补上，去掉一个移出剖面

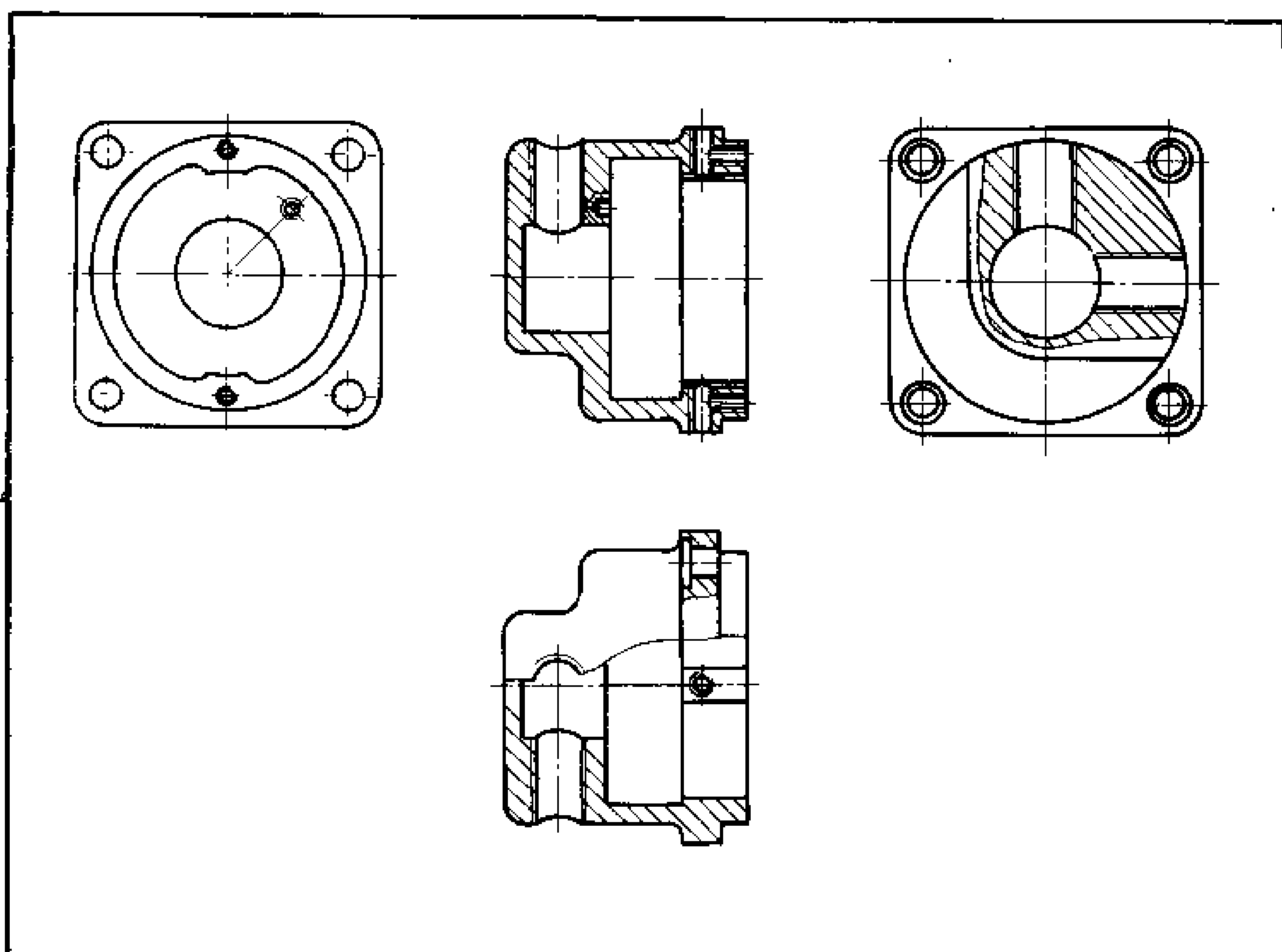


图 10-20(d)　在主视图中加画一个螺孔的深度，俯视图改画成局部剖视

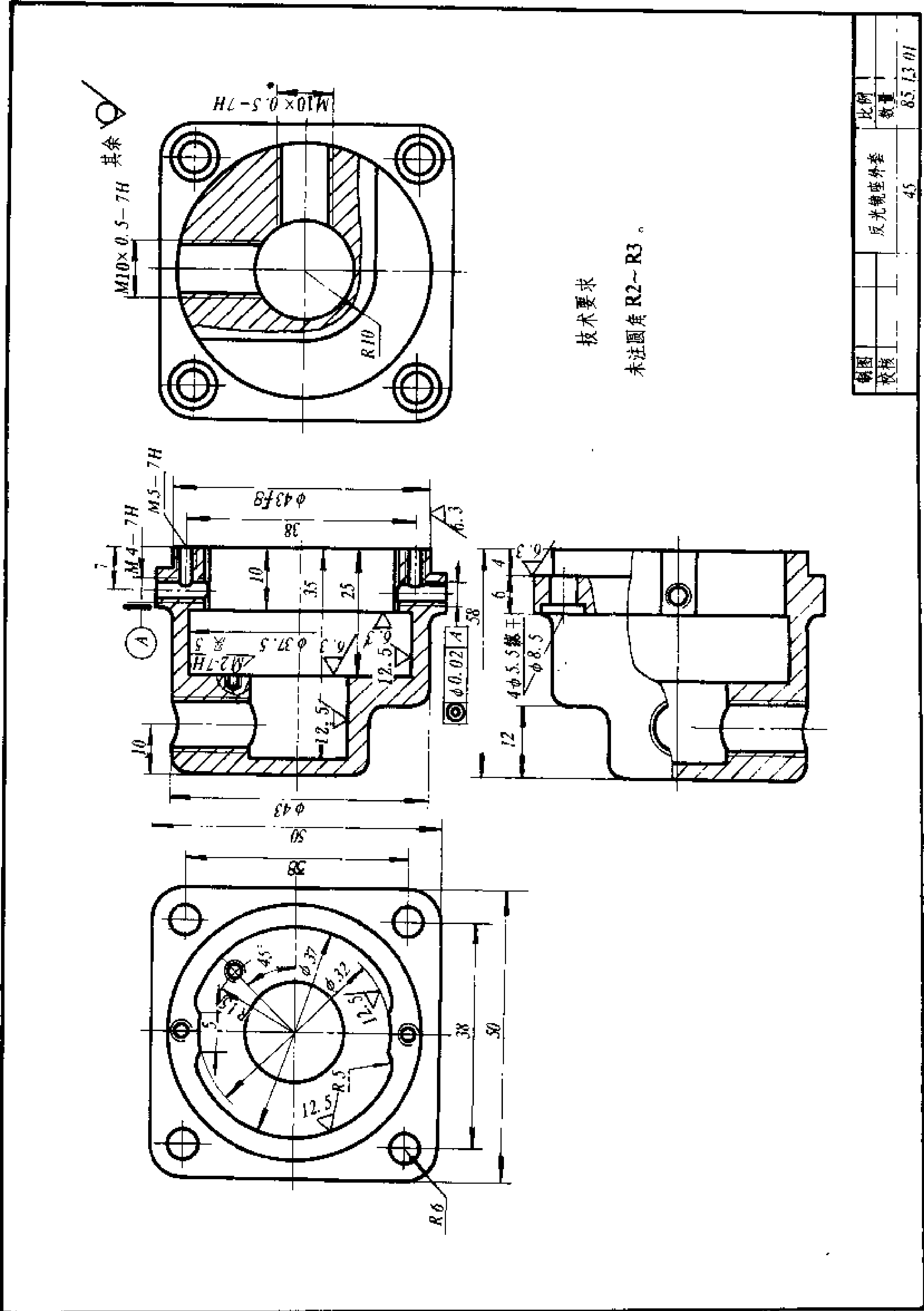
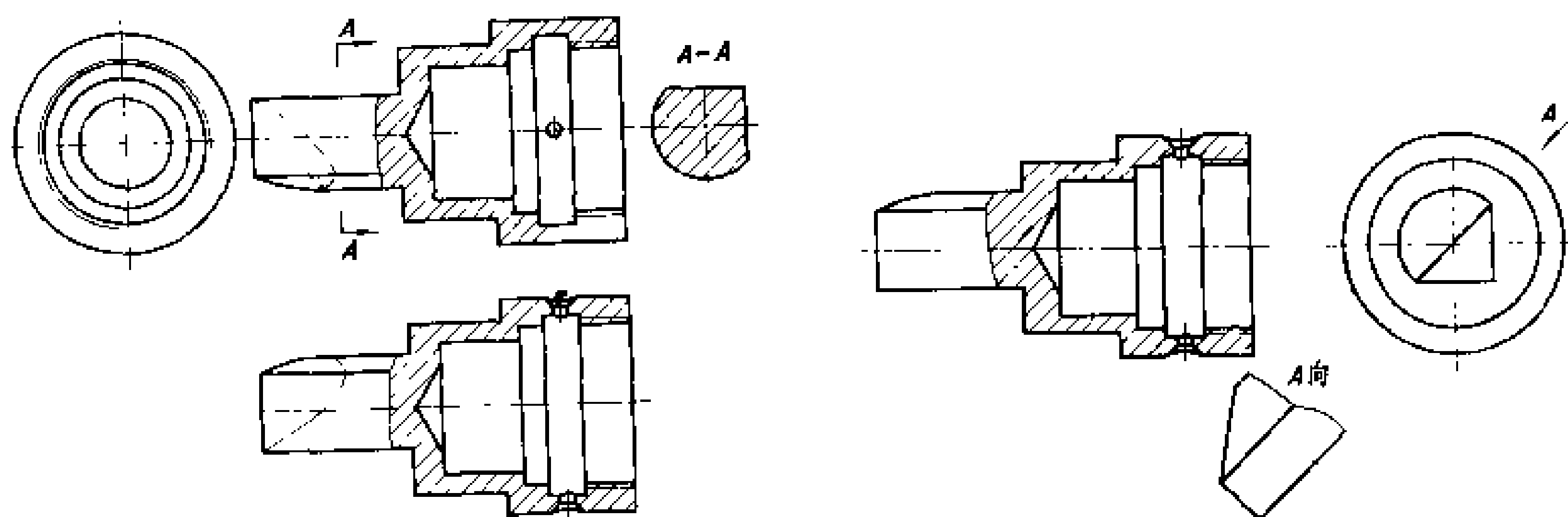


图10 21 反光镜座外套零件图



(a) 不好 —— 照抄装配图上的零件投影　　(b) 好 —— 根据轴类零件的特点，重新选择视图

图 10-22　反光镜座的视图选择

(3) 有些尺寸需由公式计算确定。如齿轮齿顶圆、中心距等尺寸需根据模数、齿数计算决定。

对有装配关系的两零件，要特别注意使其基本尺寸相同，不要造成尺寸的矛盾，以免给装配工作带来困难或造成废品。

10.8.5　确定零件的表面粗糙度和其他技术要求

零件的各表面都应注出粗糙度。粗糙度参数及其数值根据下列几方面来确定，确定时可参考有关手册或技术资料。

(1) 零件各表面作用要求；

(2) 各种加工方法可能达到的粗糙度值；

(3) 各种配合要求的粗糙度值、与标准件有关的各表面要求粗糙度值；

(4) 同类型产品零件各表面选用的粗糙度值。

为了防止差错，在拆图过程中必须加强校核，除了应校核每一张零件图外，还要把相关零件图联系起来校核。另外，还应校核它们的相配合部分结构形状与相关尺寸是否一致，装配后能否保证部件正常工作等。

图 10-23、图 10-24 是微调机构中的反光镜座和反光镜调整圈的零件图，作为示例。

例 10-2　看柱塞泵装配图(图 10-25)

1. 概括了解

柱塞泵是某一机床上的润滑油泵。首先可以通过阅读有关说明书，装配图中的标题栏、明细栏和技术要求等概括了解柱塞泵的功用、性能等；从外形尺寸和零件数量，知道此柱塞泵的体积大小和大致结构。

2. 分析视图

柱塞泵装配图采用了三个基本视图、一个 A 向视图和一个 $B-B$ 剖视图。

主视图　　采用局部剖视，表达了柱塞泵的结构形状、柱塞和两个单向阀等三条装配干线。

俯视图　　两处采用了局部剖视，清楚地表达了凸轮轴系的装配结构；表达了泵套、衬套等与泵体的连接关系，以及柱塞泵的结构形状。

左视图　　为了表达柱塞泵的外部形状和局部结构的内部形状，也采用了局部剖视。

零件 7A 向视图　　表达了泵体(序号 7)的安装面形状。

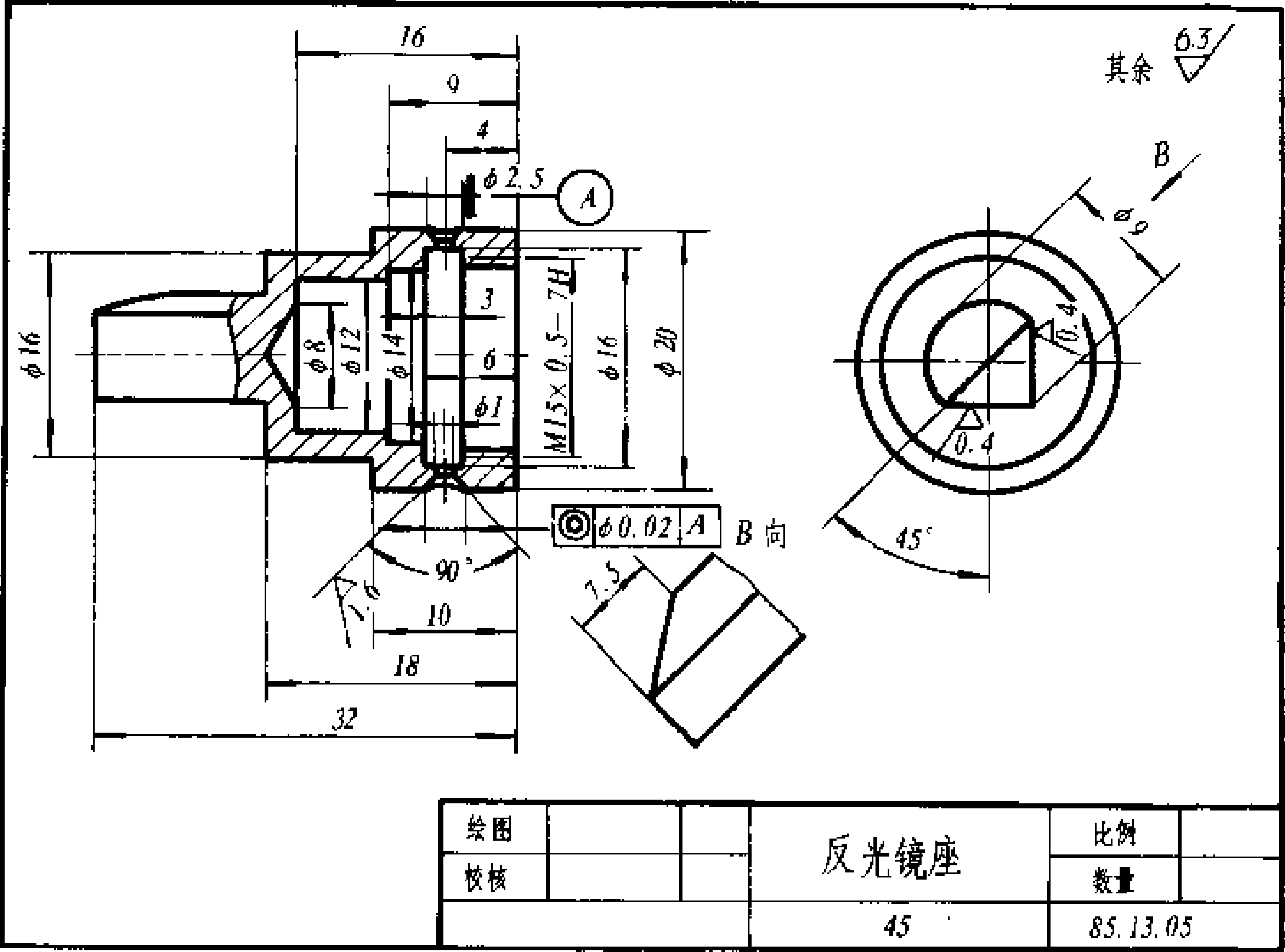


图 10-23 反光镜座零件图

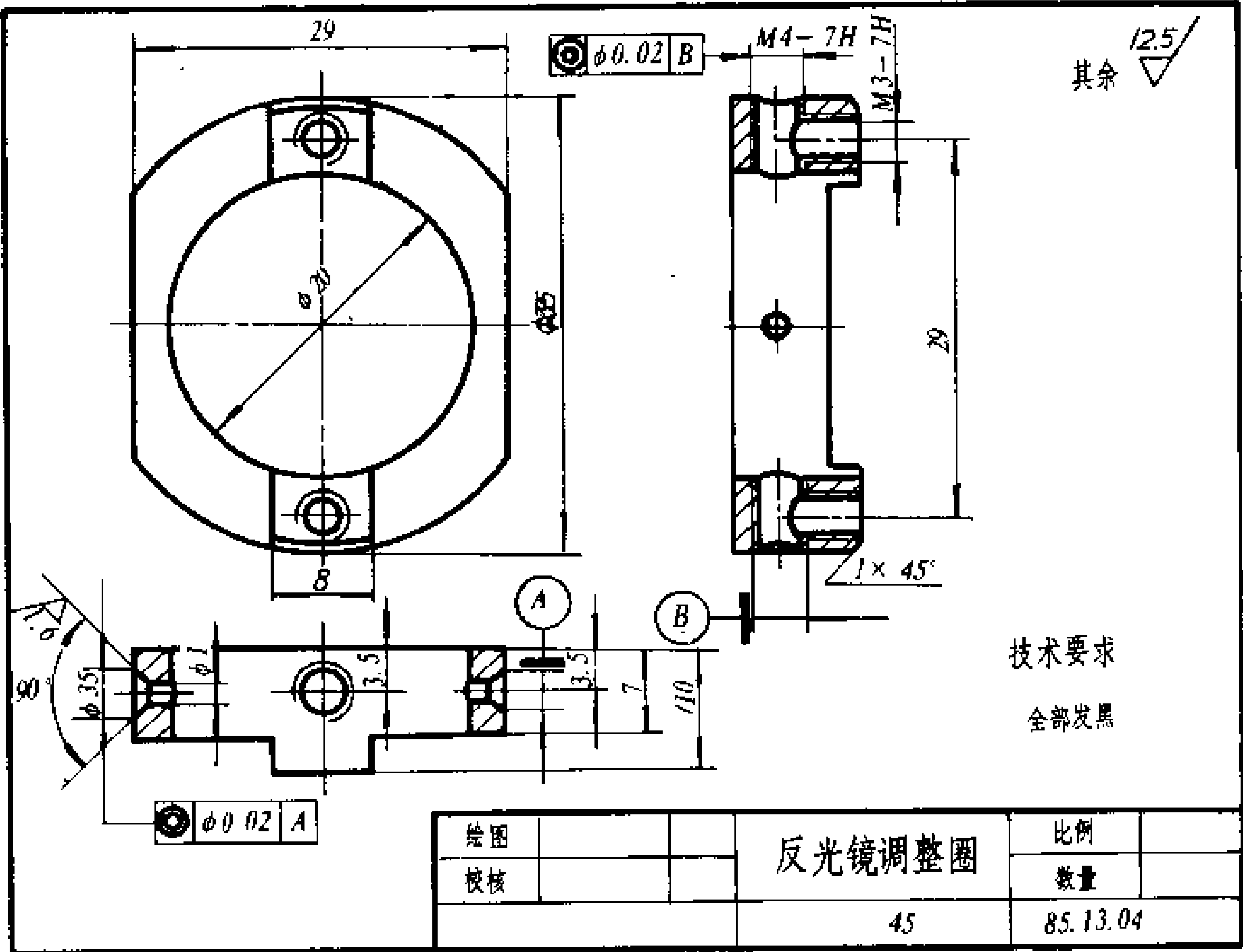
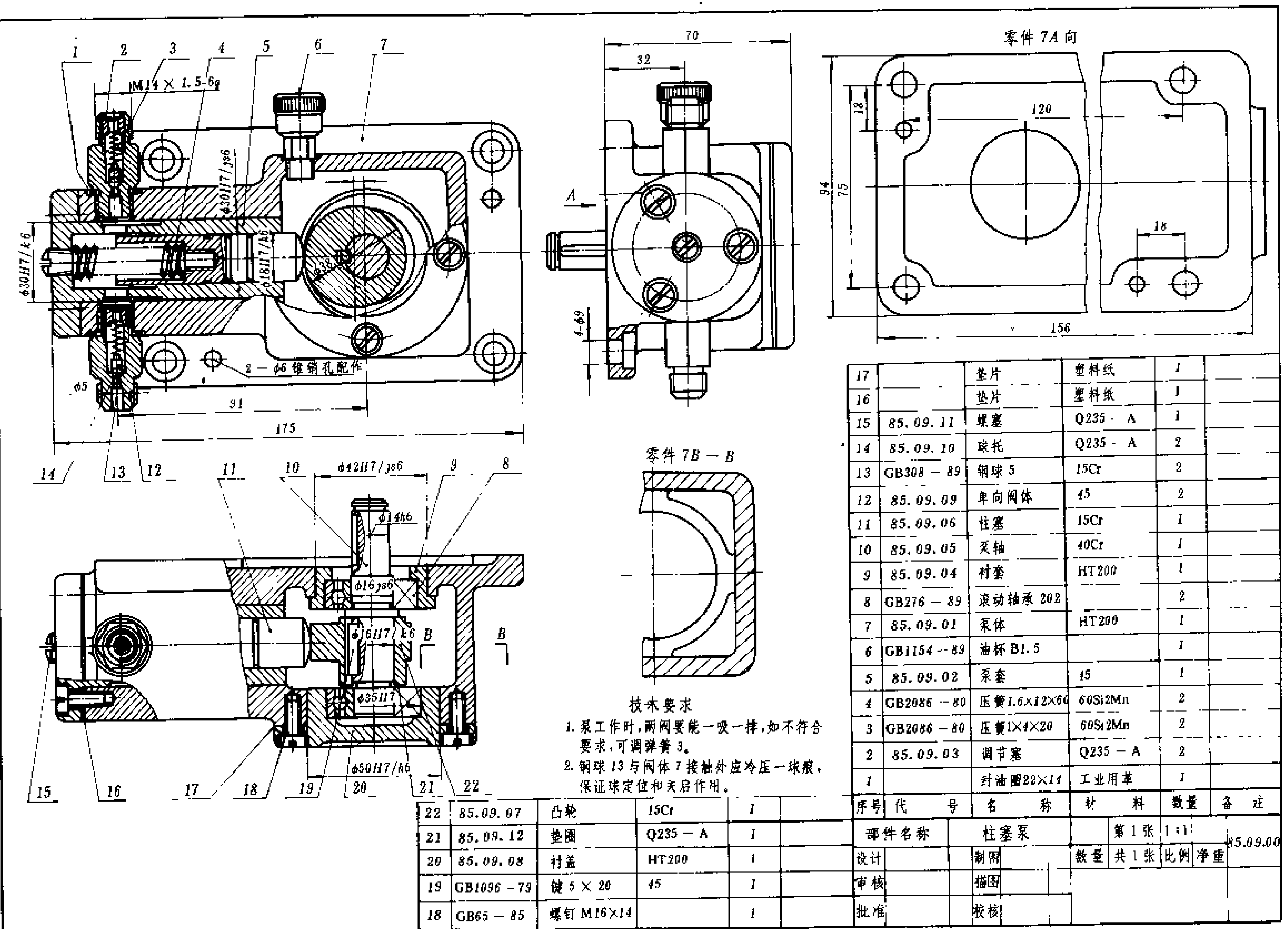


图 10-24 反光镜调整圈零件图

零件 7B — b 剖视图　　表达泵体(序号 7) 右端装衬盖(序号 20) 处的内部形状。

3. 分析工作原理



序号	代号	名称	数量	材料	备注
22	85.09.07	凸轮	1	15Cr	
21	85.09.12	垫圈	1	Q235－A	
20	85.09.08	衬盖	1	HT200	
19	GB1096－79	键5×20	1	45	
18	GB65－85	螺钉M16×14	1		
17		垫片	1	塑料纸	
16		垫片	1	塑料纸	
15	85.09.11	螺塞	1	Q235－A	
14	85.09.10	弹托	2	Q235－A	
13	GB308－89	钢球5	2	15Cr	
12	85.09.09	单向阀体	2	45	
11	85.09.06	柱塞	1	15Cr	
10	85.09.05	泵轴	1	40Cr	
9	85.09.04	衬套	1	HT200	
8	GB276－89	滚动轴承202	2		
7	85.09.01	泵体	1	HT200	
6	GB1154－89	油杯B1.5	1		
5	85.09.02	泵套	1	45	
4	GB2086－80	压簧1.6×12×60	2	60Si2Mn	
3	GB2086－80	压簧1×4×20	2	60Si2Mn	
2	85.09.03	调节塞	2	Q235－A	
1		封油圈22×14	1	工业用革	

图10-25 柱塞泵

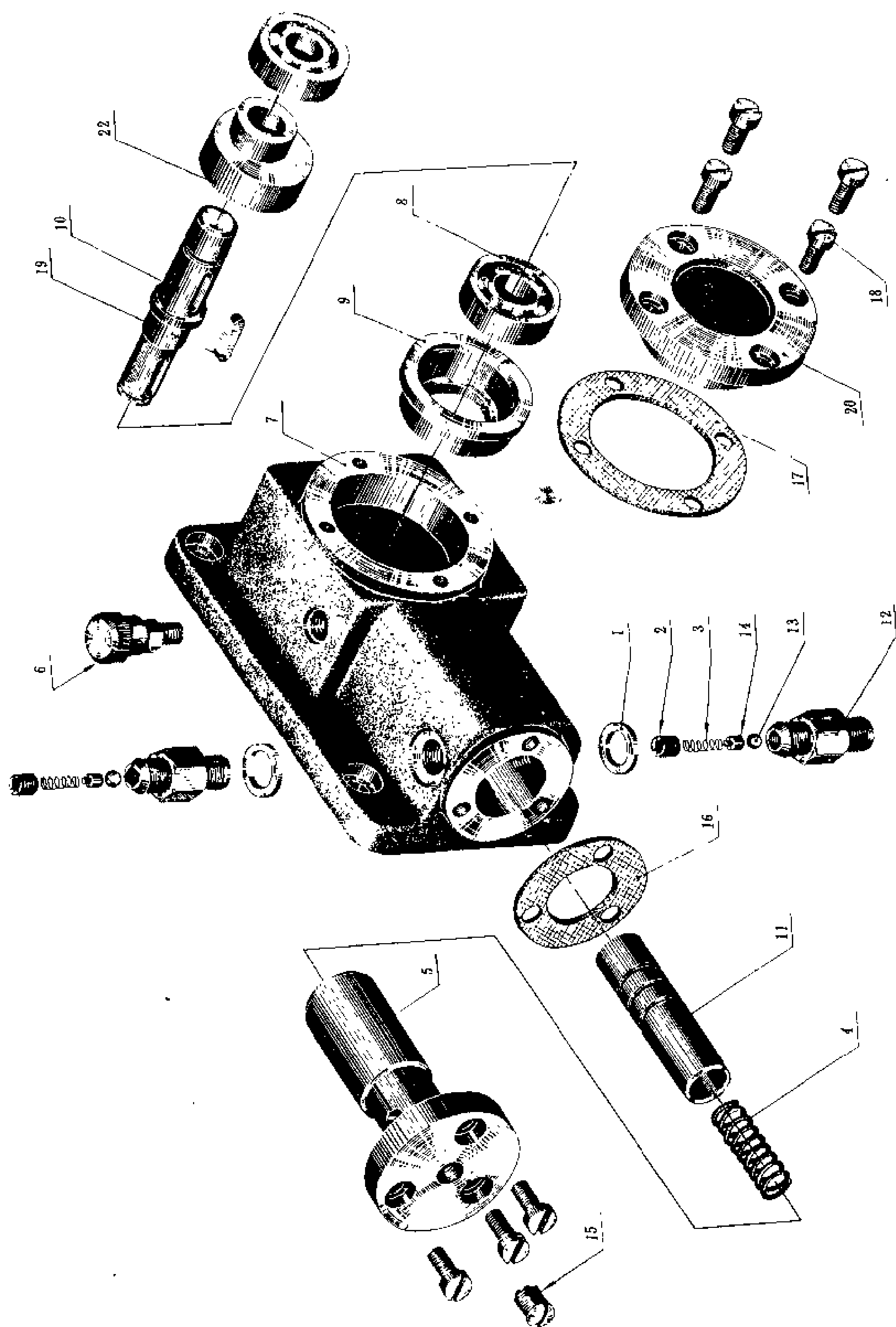


图 10-26　柱塞泵轴测分析图

柱塞泵的工作原理从主、俯视图分析可知:运动从泵轴(序号 10)输入,它将旋转运动通过键(序号 19)传递给凸轮(序号 22),柱塞(序号 11)在其左端弹簧(序号 4)的作用下,其右端与凸轮接触,从而使柱塞在泵套(序号 5)内作左右直线往复运动,当柱塞向右运动时,油从下部的单向阀(序号 12 等)吸入,柱塞向左运动,油压升高,使下面的单向阀关闭,压力油从上部的单向阀压出,输柱工作部位。

4. 分析装配关系和零件形状

柱塞泵泵轴与凸轮用键连接,轴与孔的配合尺寸 $\phi16H7/k6$ 是基孔制的过渡配合。轴用两个滚动轴承支承,因滚动轴承是外购的标准组件,所以滚动轴承与轴、孔配合时只注写轴、孔的代号。用来安置滚动轴承的衬套(序号 9)与泵体孔的配合为基孔制的过渡配合($\phi42H7/js6$),衬盖(序号 20)与泵体孔为基孔制的间隙配合($\phi50H7/h6$),并用螺钉连接。柱塞(序号 11)与泵套(序号 5)的配合尺寸为 $\phi18H7/h6$,可使柱塞在泵套内作相对运动,而泵套在泵体内是无相对 运动的。柱塞内弹簧的松紧可由螺塞(序号 15)调节。从主视图上可知,泵体(序号 7)左端上、下各装了一个单向阀,以保证油液单向进、出。从视图和明细栏可知油杯(序号 6)是标准组件,用来润滑凸轮。

零件的结构形状,可根据零件的作用、投影范围和装配关系来分析,一般可从主要零件开始。柱塞泵的泵体是一个主要零件,必须认真分析三个基本视图和 A 向视图、$B-B$ 剖视图。通过视图分析和运用零件结构对称的特点,可想出泵体前端盖处的结构。从左、俯视图和 A 向视图可知,泵体底板处有安装用的四个螺栓孔和两个定位销孔。其结构形状和零件图可参看图 10-26 和图 9-11、图 9-12。其余零件也可用同样方法进行分析,并可参看图 10-26 柱塞泵轴测分解图和第 9 章中部分有关零件(如凸轮、泵轴、泵套、衬盖等)的零件图。

思考问题

10.1 装配图应包括哪些内容?

10.2 在装配图上要标注哪些尺寸?

10.3 装配图有哪些特殊表达方法?

10.4 试述画装配图的步骤。

10.5 怎样看装配图,深入看懂图 10-3 所示滑动轴承装配图。

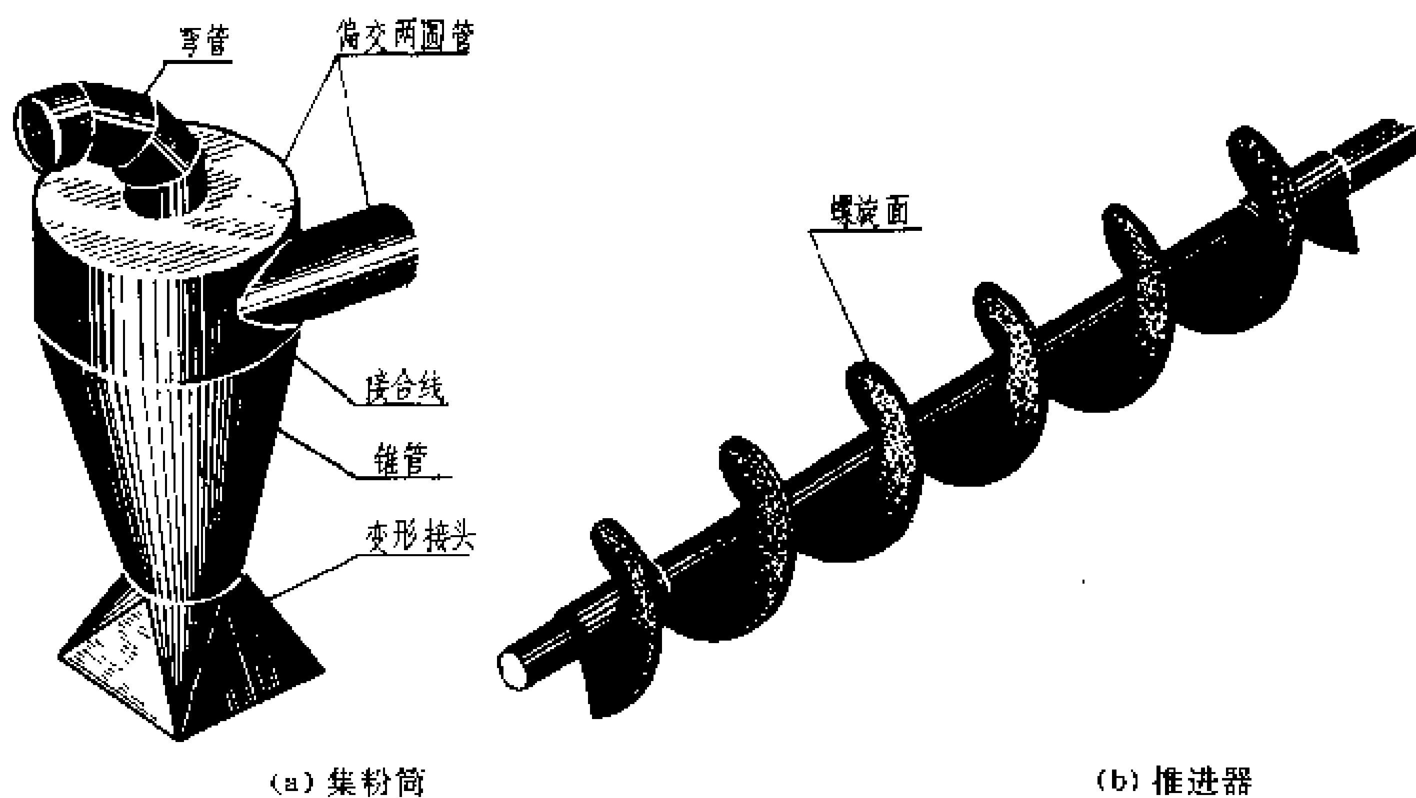
10.6 深入看懂图 10-18 所示微调机构装配图。

第11章　展开图与焊接图

内容提要　本章介绍展开的基本知识。圆柱面、圆锥面等常见可展曲面的展开图画法，正螺旋面和球面等不可展曲面的近似展开法。焊接的基本知识，焊缝符号及其标注方法和焊接图画法。

11.1　展开图概述

在机械、化工、电力及冶金等各工业部门中，常常遇到各种各样的金属板制件。例如图11-1a所示饲料粉碎机上的集粉筒。图11-1b所示螺旋输送机的推进器等，都是属于这类金属板制件，制作这种金属板制件，一般总是从下料、放样、划线开始的，也就是要将制件表面的真实形状和大小按次序画在金属板平面上。这种把制件表面展开画在平面上的图形称为展开图，图11-2即为圆柱和棱柱的表面展开图。



(a) 集粉筒　　(b) 推进器

图11-1　金属板制作实例

11.2　展开图画法

展开图画得正确与否直接影响金属板制件的质量。展开图作得准确，不但保证质量，面且节约材料，降低成本。有的曲面可以展在一个平面上，称为可展曲面，如圆柱面、圆锥面等就是属于可展曲面。这种曲面可准确作出它的展开图。有的曲面是不能展开在一个平面上的，称为不可展曲面，如球面、螺旋面等属于不可展曲面。这种曲面只能近似作出它的展开图。下面介绍几种常用的展开图画法。

11.2.1　圆柱面展开图画法

1. 正圆柱面展开图画法

正圆柱面的展开图是一长方形，用计算法可求得。设圆柱直径为 D，高度为 H，那末展开图

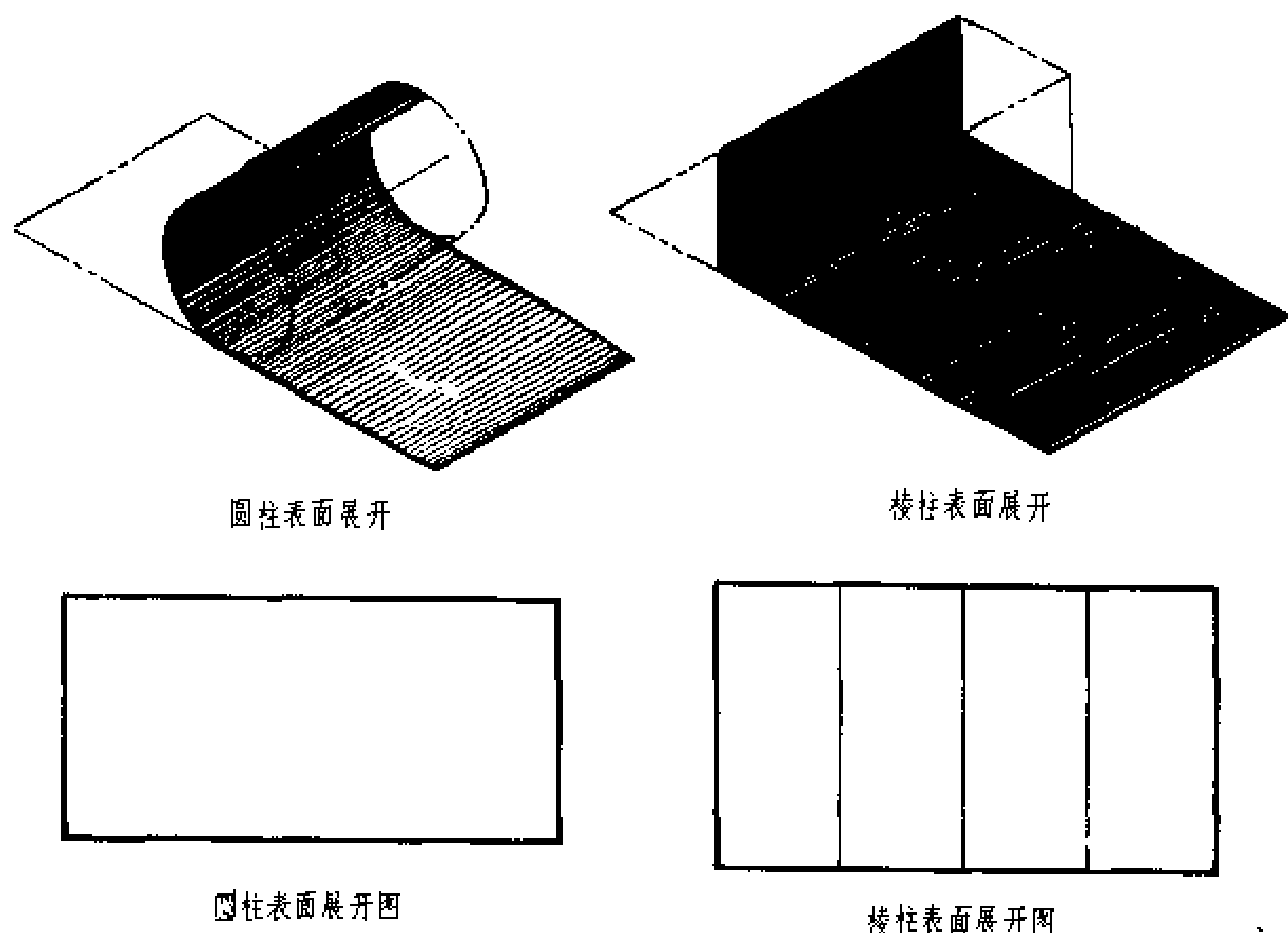


图 11-2　圆柱和棱柱的表面展开图

长方形的长度 $L = \pi D$，高度即为圆柱面高度 H(图 11-3)。

也可用作图方法来作出它的展开图。如图 11-4 为已知圆柱面的主视图和俯视图，将俯视图(圆)等分(例如 12 等分)，在主视图右边作一水平线，然后用分规在俯视图上量取弦长 12(用弦长代替弧长)，在水平线上量取 $1_0 2_0$ 等于弦长 12，依次截取 12 份。这样得到圆周展开的近似长度，展开图长方形的高度为圆柱面高度 H。

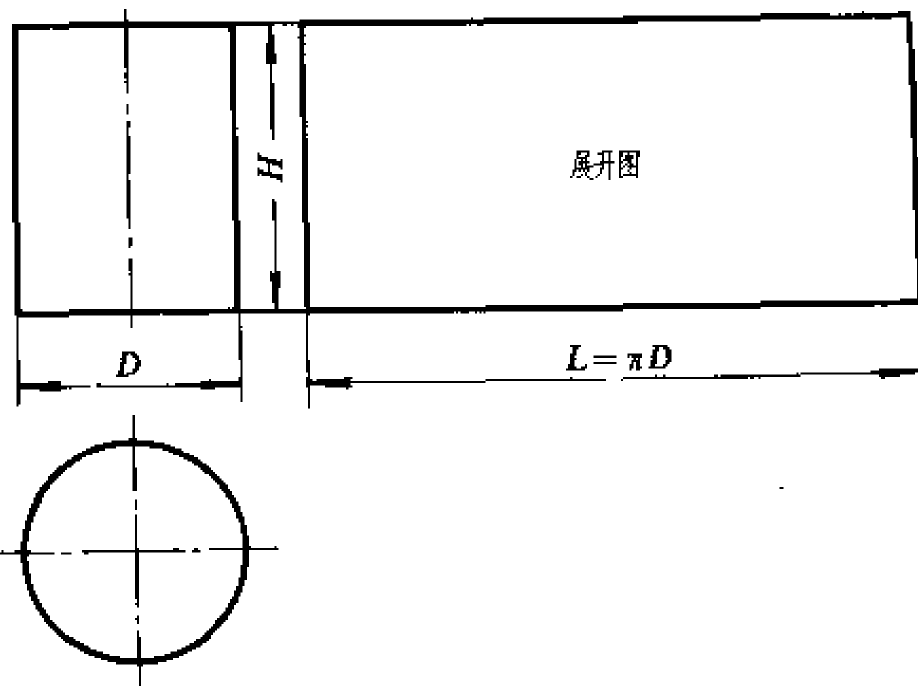


图 11-3　圆柱表面展开图计算法

2. 斜截正圆柱面展开图画法(图 11-5)

已知斜截正圆柱表面的主视图和俯视图。首先将俯视图(圆)分为 12 等分，在每一等分点上作出圆柱表面素线在主视图上的投影。由于素线都平行于正面投影面，所以反映实长。然后在主视图右边作一直线，使它的长度等于圆周的展开长度(πD)。将此直线段分为 12 等分，由各分点作垂直线，并在垂直线上截取线段分别等于相应的各素线长度，然后光滑连接各端点即得所求展开图。

上述这种利用平行的素线来画出展开图的方法，称为平行线法。

3. 等径直角相交两圆柱表面展开图画法

等径直角相交两圆柱面和相贯线正面投影为一直线，它与轴线成 45°。从图 11-6 中可以看出，如果把圆柱面 B 改变位置，使它的轴线与圆柱面 A 的轴线重合(如图中用双点划线画出的位置)，则 A、B 两圆柱面变成一个高度为 $H = H_a + H_b$ 或 $H = H_1 + H_2$ 的一个圆柱面，因此它们的展开图合起来应是一个长方形。长方形的高 $H = H_a + H_b = H_1 + H_2$，长方形的长 $L = \pi D$，相贯线的展开曲线作法与斜截圆柱表面展开曲线作法相同，如图 11-6 所示。

非直角等径相交两圆柱面的展开图作法类似此例。

4. 不等径直角相交两圆柱表面展开图画法

先作圆柱面 Ⅰ 展开图。根据等分素线在主视图、左视图上反映实长这一特性，直接从相贯线左视图上各点，通过投影方法，作出展开图中相贯线的展开曲线。即取线段 1_0-1_0 使等于 πD_1，等分后得点 1_0，2_0，3_0，4_0，……。从各点引线段的垂直线，在其上截取相应素线实长，用光滑曲线连接各端点即得相贯线的展开曲线，完成展开图，如图 11-7 的右图所示。

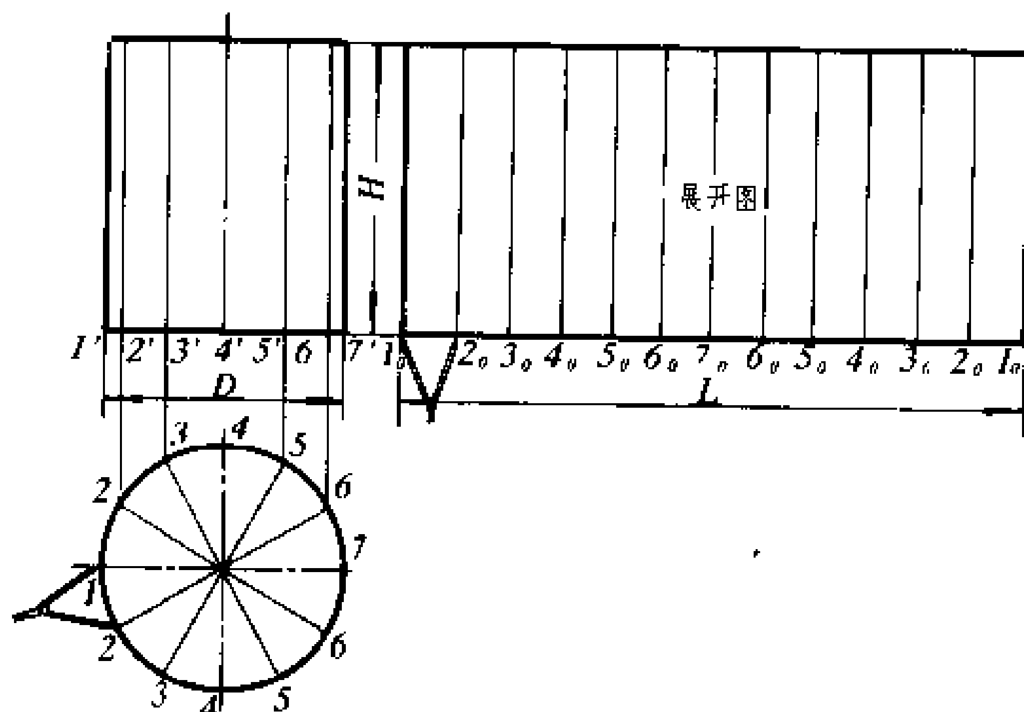


图 11-4　圆柱表面展开图画法

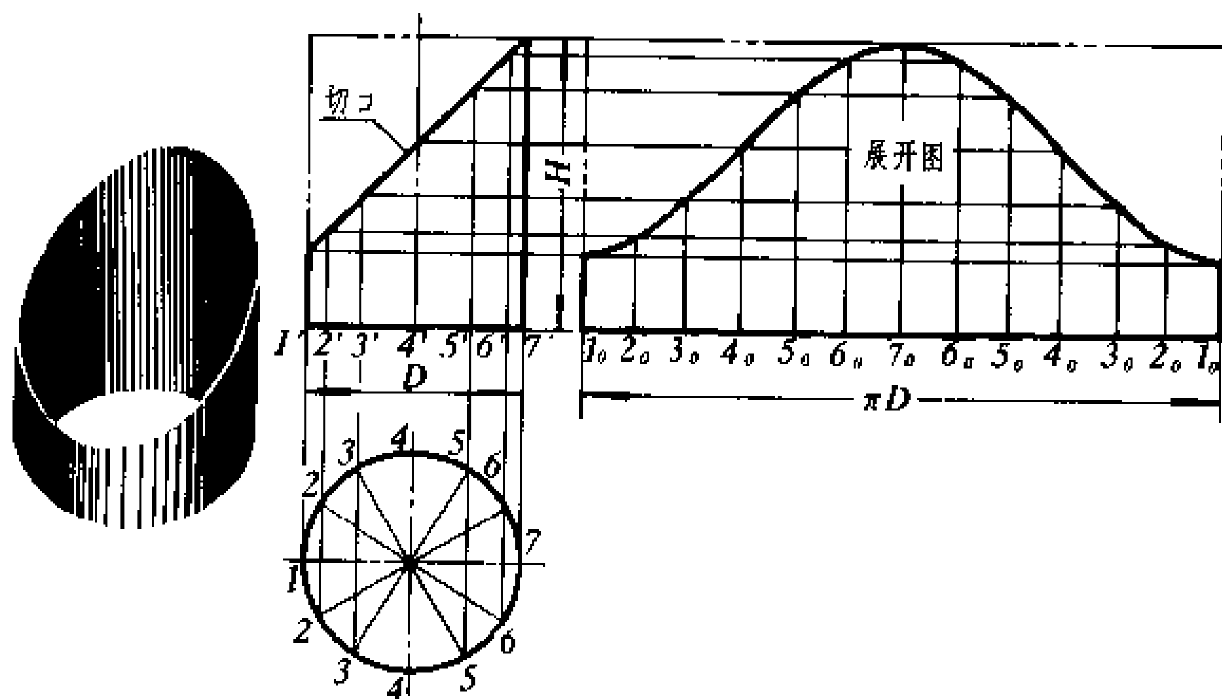


图 11-5　斜截圆柱表面展开图画法

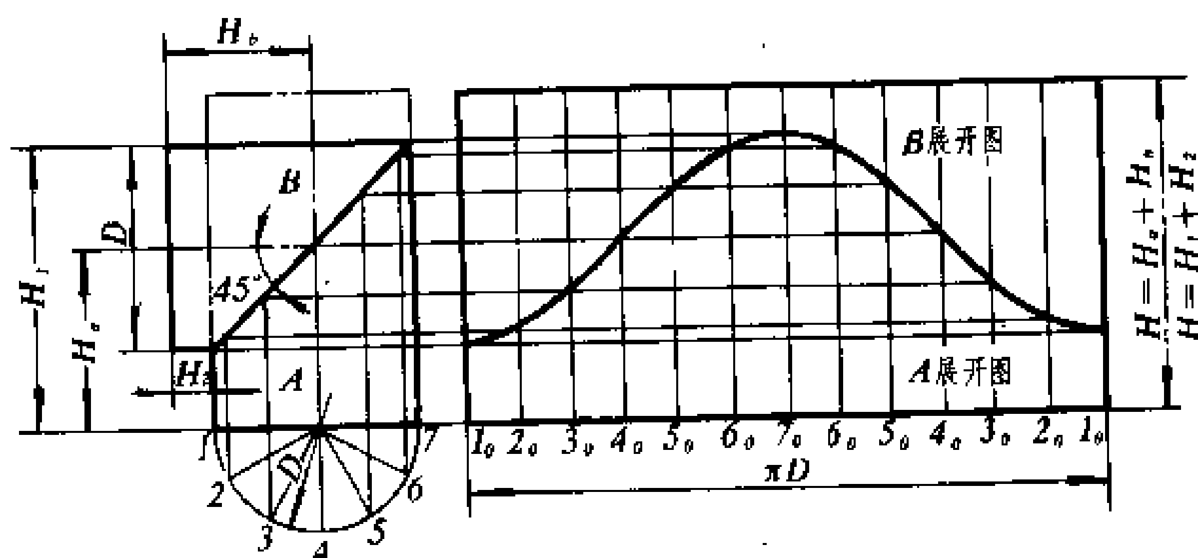


图 11-6　等径直角相交两圆柱表面展开图画法

再作圆柱面 Ⅱ 展开图。先作出完整圆柱面 Ⅰ 展开图　　长方形，再求出相贯线展开曲线。在长方形上截取点 a_1，b_1，c_1，d_1，…，使 a_1b_1，b_1c_1，c_1d_1，… 等于弦长 $\overline{a''b''}$，$\overline{b''c''}$，$\overline{c''d''}$，…（近似地取弦长代替弧长）。过点 a_1，b_1，c_1，d_1 作长边的垂直线，在相应垂直线上截取线段，使其长度等于穿过相贯线的圆柱素线的长度，作法如图 11-7 的下图所示。用光滑曲线连接各端点即得所求相

贯线的展开曲线。

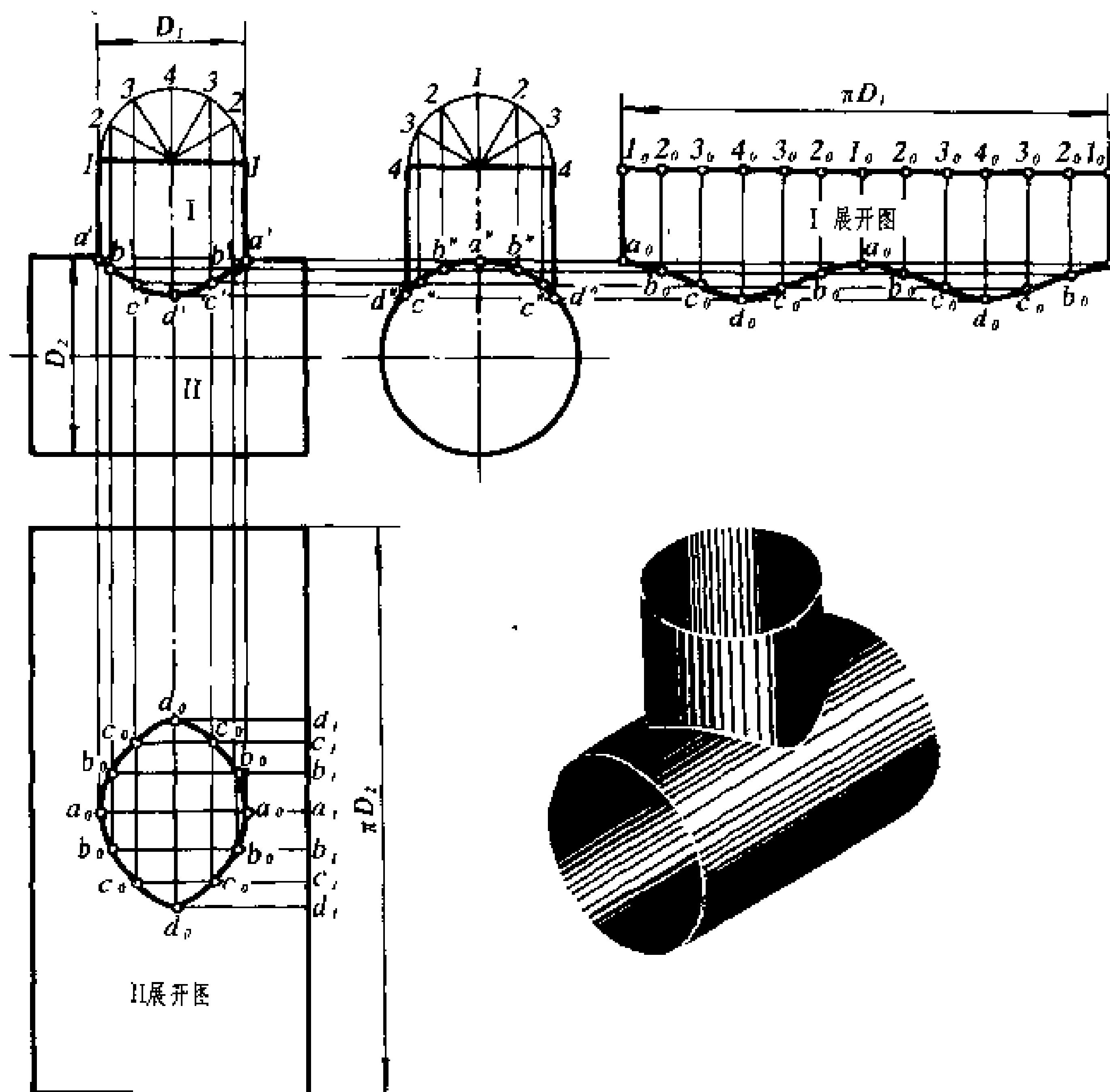


图 11-7　不等径直角相交两圆柱表面展开图画法

斜交两圆柱面的展开图作法类似此例。

11.2.2　**圆(棱)锥面展开图画法**

1. 正四棱锥表面展开图画法(图 11-8)

正四棱锥表面是由四个相等的等腰三角形组成，只要画出这些等腰三角形的实形，再依次连接起来就是所求展开图。要画三角形实形只要求出三角形三条边的实长即可。

这些等腰三角形的腰就是四棱锥的棱线。它的实长在四棱锥主视图上已反映，即 0′1′。这些等腰三角形的底边实长 a 在俯视图上也已反映，即$\overline{43}$。根据这样的分析，可按如下步骤画出展开图，主视图以 0′1′ 为半径作弧，在弧上截取 $1_0,2_0,3_0,4_0,1_0$，使它的弦长等于 a，再将顶点 0′ 与点 $1_0,2_0,3_0,4_0,1_0$ 连接起来，即得四棱锥表面展开图。

2. 正四棱台表面展开图画法(图 11-9)

(1) 分析　正四棱台的棱面是四个相等的等腰梯形，这个正四棱台表面展开图是由四个等腰梯形依次连接而成。

(2) 作图　为了作出这个梯形，连接一条对角线，将梯形分成两个三角形。求出这两个三角形三条边实长即可画出等腰梯形。等腰梯形的上、下底边实长 a,b 在四棱台俯视图上已反映，梯形的腰和对角线实长用直角三角形法求出，如图 11-9b 所示。求得梯形上、下底边的实长 a,b 及腰 Ⅱ、对角线实长 Ⅰ 后即可画出梯形。所求展开图如图 11-9c 所示。

3. 圆锥表面展开图画法

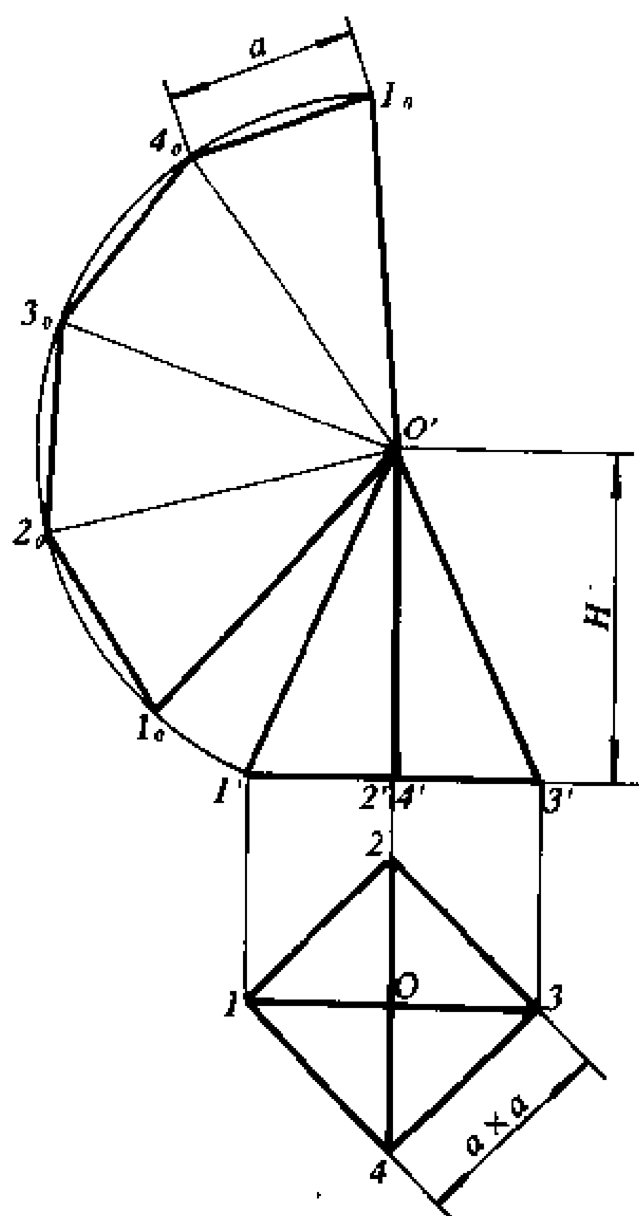


图 11-8　正四棱锥表面展开图画法

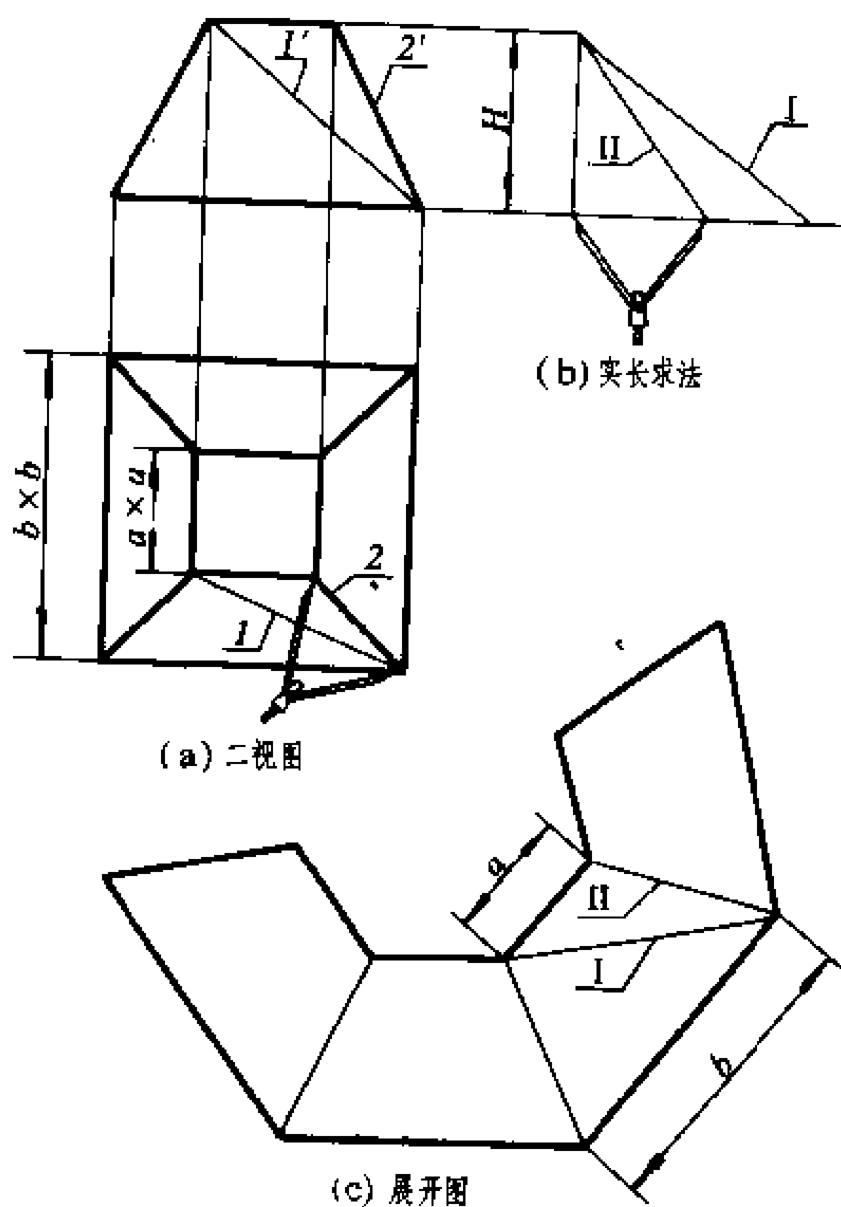


图 11-9　正四棱台表面展开图画法

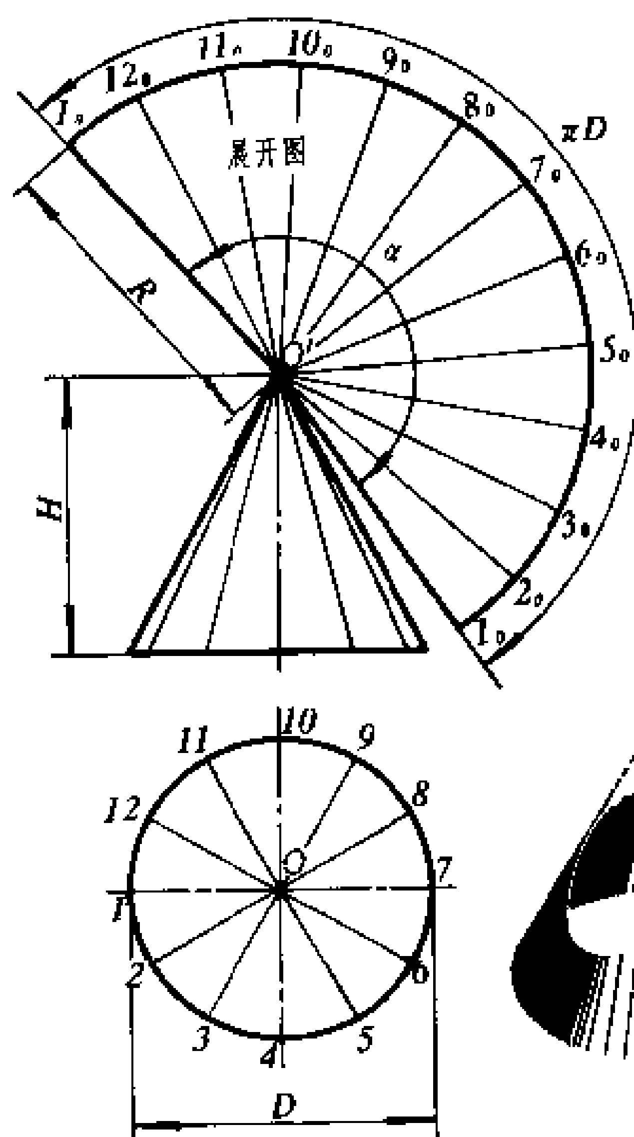


图 11-10　圆锥表面展开图画法

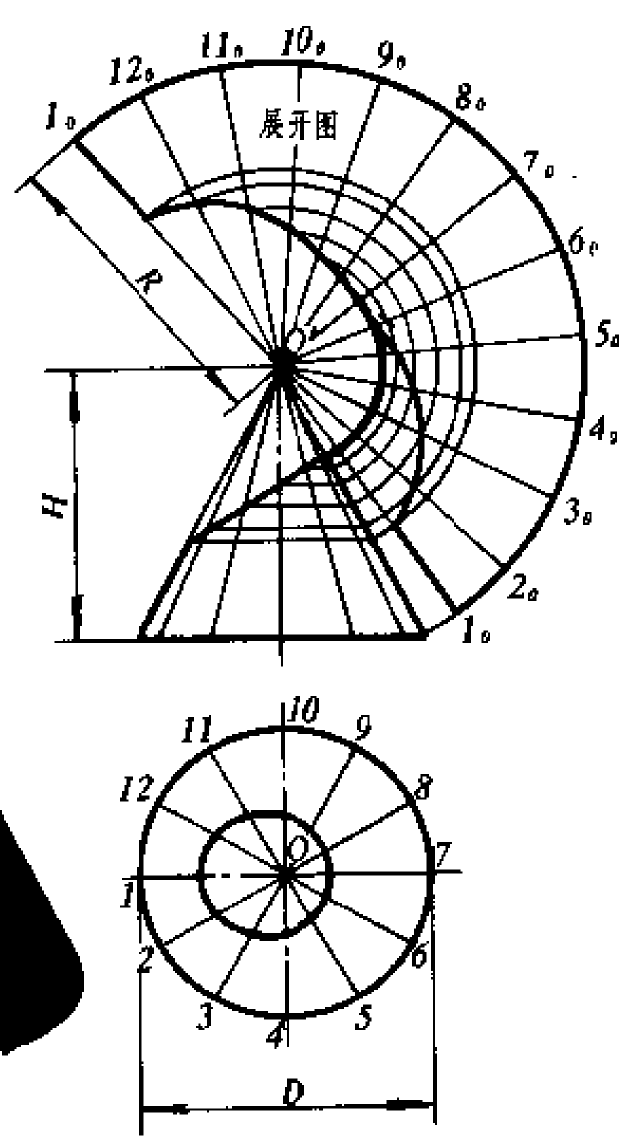


图 11-11　斜截圆锥台表面展开图画法

圆锥表面展开图是扇形。它的作法如下(图 11-10)：首先作出圆锥的 12 条等分素线，然后把圆锥看作 12 个棱锥，作出 12 个棱锥表面展开图。作半径等于圆锥母线实长的圆弧，在此圆弧上截取弦长$\overline{1_0 2_0}$，$\overline{2_0 3_0}$，$\overline{3_0 4_0}$，…，使之分别等于底圆弦长$\overline{12}$，$\overline{23}$，$\overline{34}$，…，即可完成作图。

上述这种利用相交于一点的素线来画展开图的方法，称为放射线法。

也可以用计算方法来作圆锥的展开图。展开图扇形半径 $R = \sqrt{H^2 + (D/2)^2}$，扇形中心角 $\alpha = 360° \cdot \pi D/2\pi R = 180° \times D/R$。式中 H 为圆锥高度，D 为底圆直径。

4. 斜截圆锥台表面展开图画法

斜截圆锥台表面的展开图作法如下(图 11-11)：

(1) 先画出完整圆锥表面展开图，并作出等分素线。

(2) 求出斜截后各素线实长，再在扇形展开图上确定出截断的素线实长(如图上用细实线画的圆)。用光滑曲线连接各端点，即得所求切口展开曲线。

对圆锥来说，求截断素线实长可用上例方法，即先求出各素线实长再求出交点。如求 02 素线截去部分的实长，只要从该素线的投影和截面交点作水平线使之与轮廓素线相交，点 O 到该交点长度即为所求实长。其余素线截去部分的实长求法类似。

11.2.3 变形接头展开图画法

图 11-12 所示为一上圆下方变形接头，它的上口用来连接圆管，下口用来连接方管。

(1) 分析　这个变形接头上口是圆形，下口是方形。圆形上口部分必须由曲面围成，方形下口部分必须由平面围成，因此这个变形接头可由平面与曲面组合而成。将四方形下口四个顶点与圆形上口四个等分点连接起来，把这个变形接头当作由四个三角形平面和四个斜圆锥面组合而成，由此可作出它的展开图。

(2) 作图　利用直角三角形法求出锥面等分素线的实长，如图 11-12b 所示。以 L 为底，L_1 为腰作等腰三角形，这个等腰三角形就是三角形平面的实形(展开图)。以 O_0 为圆心，L_2 为半径作圆弧；以点 1_0 为圆心，弦长$\overline{12}$为半径作圆弧，这两个圆弧交于点 2_0，再以点 2_0 为圆心，弦长$\overline{23}$为半径作圆弧；以 O_0 为圆心，L_2 为半径作圆弧，两圆弧交于点 3_0，最后以点 3_0 为圆心，弦长$\overline{34}$为半径作圆弧；以 O_0 为圆心，L_1 为半径作圆弧，两圆弧交于点 4_0。然后用光滑曲线连接 1_0、2_0、3_0、4_0，即得锥面展开图。依次作出其余三角形和锥面展开图，即得变形接头的展开图，如图 11-12c 所示。

11.2.4 展开图的近似画法

1. 螺旋面展开图近似画法

这种近似画法的基本根据是把正螺旋面(一整圈)展开图当作一个扇形。这个扇形素线的长度等于正螺旋面素线实长，内、外圆周长等于正螺旋面上内、外螺旋线展开长度。它的作法如下(图 11-13)：

(1) 作出内螺旋线展开长度。作直角三角形 ABD，使 AB 等于导程 H，BD 等于内圆周长 πd，那末斜边 AD 等于 b 即为内螺旋线长度。

(2) 作外螺旋线展开长度。作直角三角形 ABC，使 AB 等于导程 H，BC 等于外圆周长 πD，那末斜边 AC 等于 a 即为外螺旋线长度。

(3) 作出近似展开图。作一等腰梯形，使上底等于 b，下底等于 a，高等于 $(D-d)/2$。延长等腰梯形的两腰使相交于点 O，以点 O 为圆心，$O1_0$、$O2_0$ 为半径作圆弧。在大圆弧上量取弧长$\overset{\frown}{2_0 4_0}$使等于 a，得点 4_0。连接 $O4_0$ 交小圆弧于点 3_0。所得扇形即为所求正螺旋面近似展开图。

2. 球面展开图的近似画法

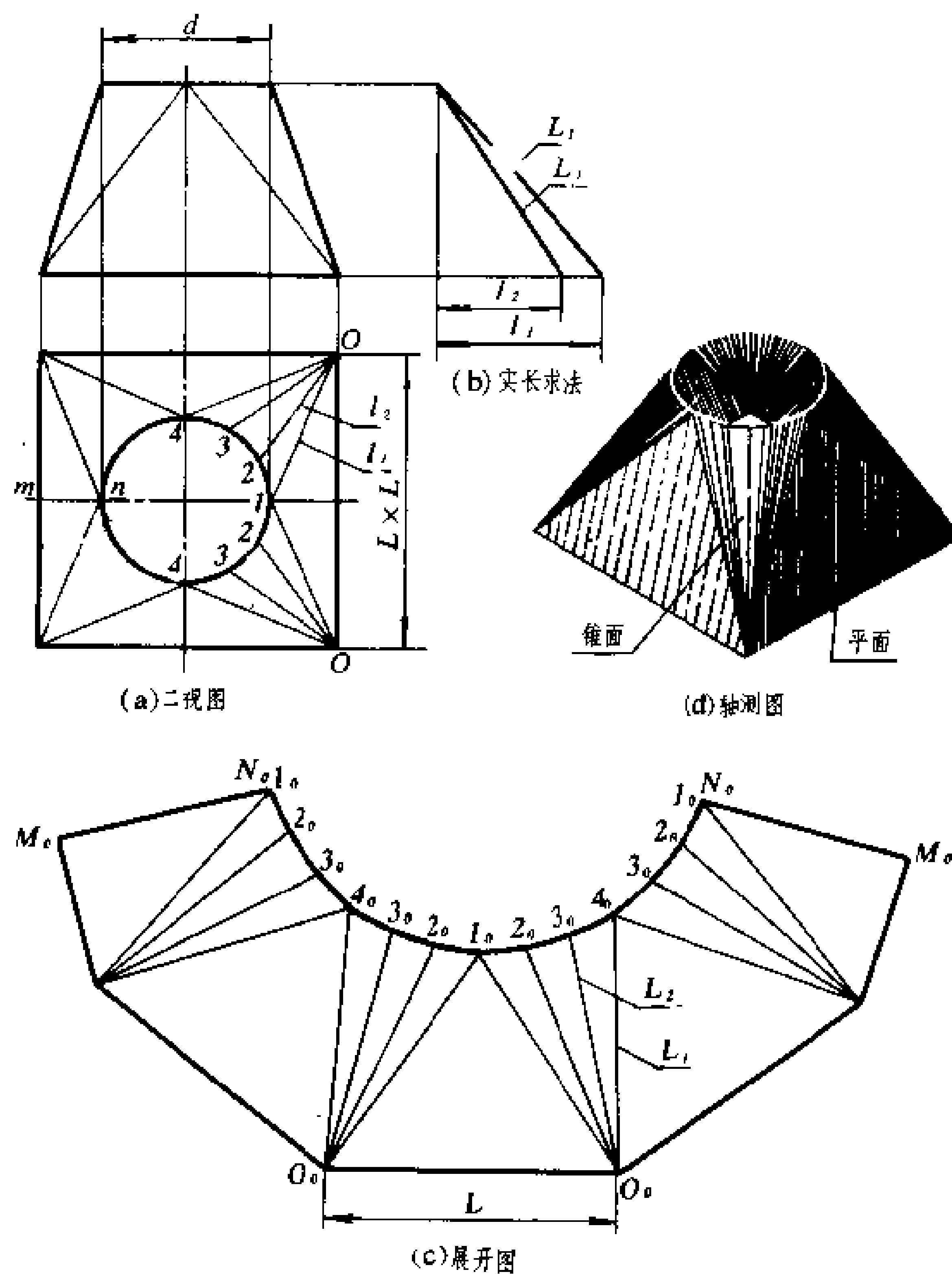


图 11-12　变形接头展开图画法

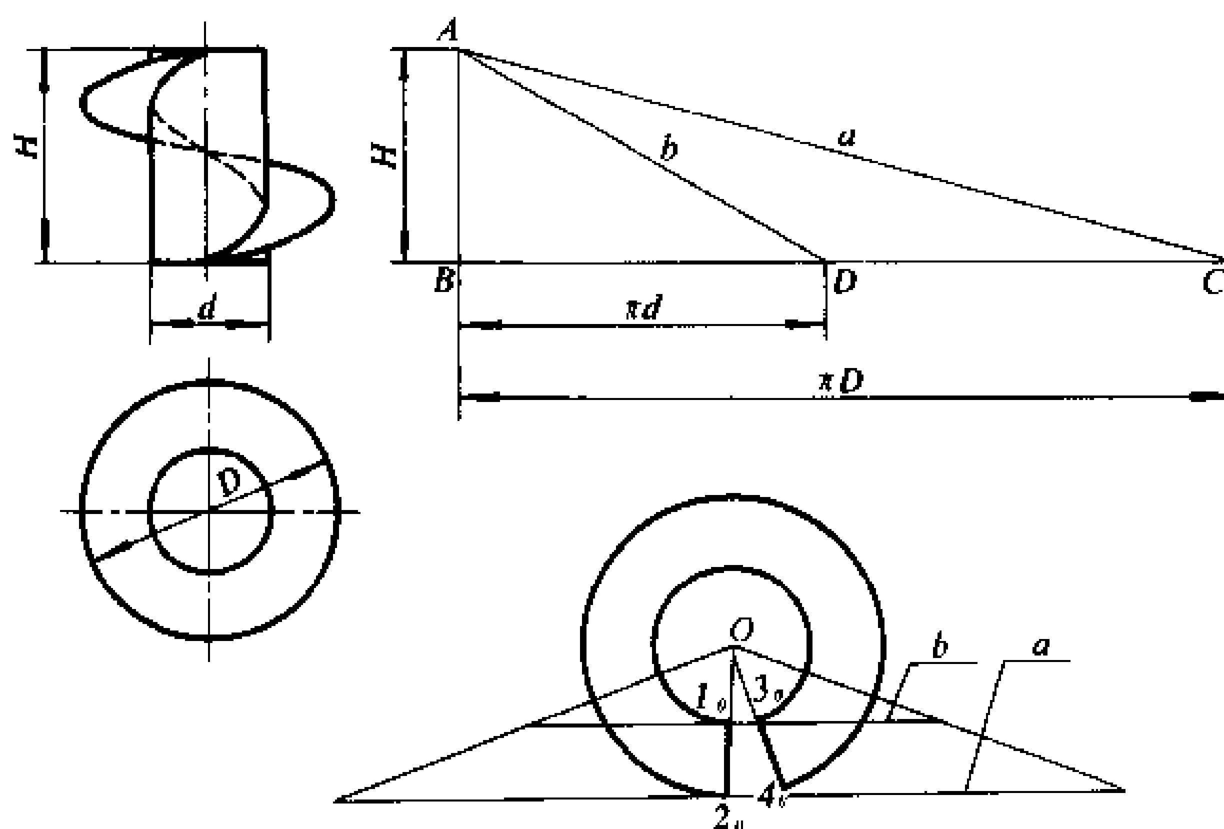


图 11-13　正螺旋面展开图近似画法

常用的球面展开图的近似画法是将球面分成若干小部分，再把每一小部分近似当作圆柱

面。圆柱面的展开图就是小部分球面的近似展开图。其作图步骤如下(图 11-14)：

(1) 通过轴线作铅垂面将球等分，例如 12 等分；

(2) 将每部分半圆周也等分，例如六等分。过各等分点作纬圆水平面投影及切线 ab，cd，ef，如图 11-14a 所示。用柱面 $0_0a_0b_0$ 近似代替该小部分球面的一半；

(3) 过点 3_0 作互相垂直两直线。在垂直线上取点 4_0，5_0，6_0，使 $3_04_0 = 4_05_0 = 5_06_0 = \frac{1}{6}\pi R$，如图 11-14b；

(4) 分别过点 3_0，4_0，5_0 作水平线。在这些水平线上分别量取 $a_0b_0 = ab$，$c_0d_0 = cd$，$e_0f_0 = ef$，得点 a_0，b_0，c_0，d_0，e_0，f_0；

(5) 将点 b_0，d_0，f_0，6_0 和 e_0，c_0，a_0 用光滑曲线连接起来。再对称地画出下半部分即得 1/12 球面的近似展开图(柳叶曲线)；

(6) 用上述同样方法画出 12 个柳叶形(图 11-14b 中只画出 6 个)，即为所求。

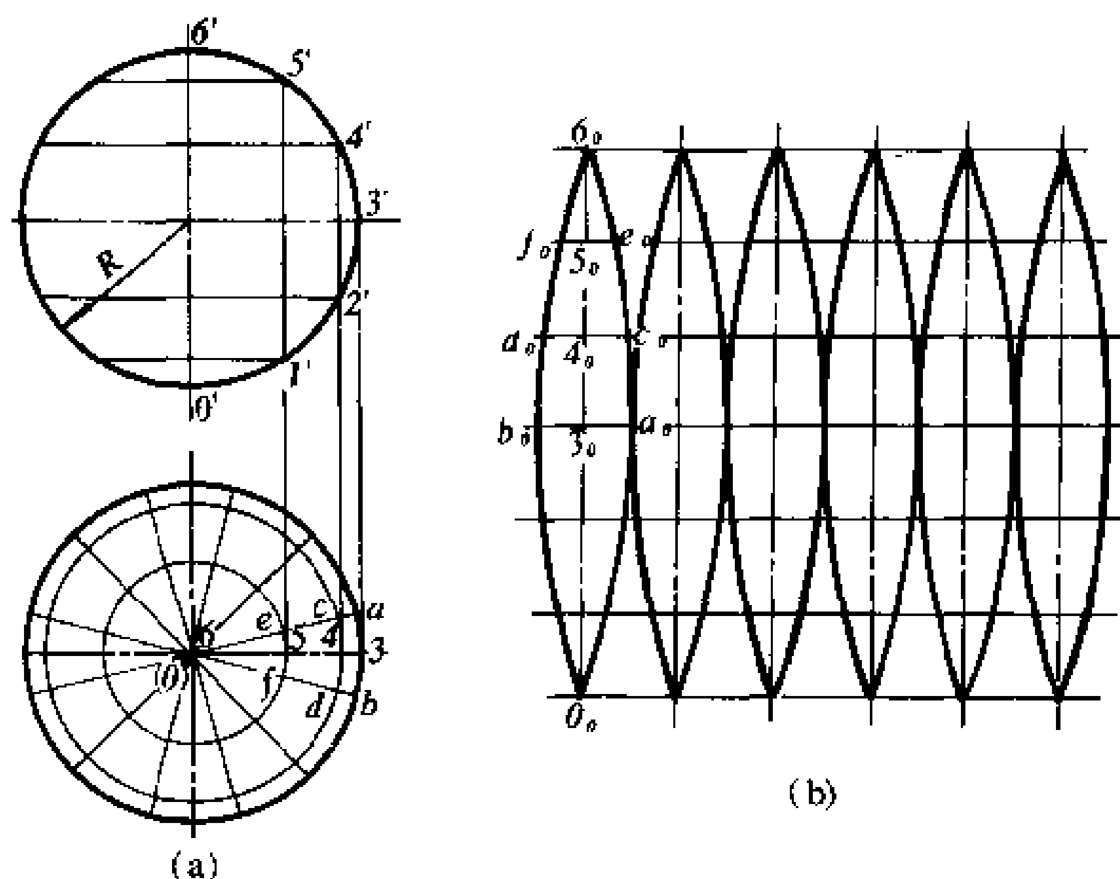


图 11-14 球面展开的近似画法

11.3 焊接的基本知识

焊接是将需要连接的焊件在连接部分加热到熔化状态或半熔化后再用压力使它们连接起来，或在其间加入其他熔化状态的金属，使它们冷却后连成一体，因此焊接是一种不可拆的连接。

焊接的方法甚多，一般用得较多的是手工电弧焊和气焊，如图 12-15。由于焊接所用设备简单、生产效率高，焊缝强度大，密封性好，所以在机械制造、化工、造船、建筑结构及其他工业中广泛使用。

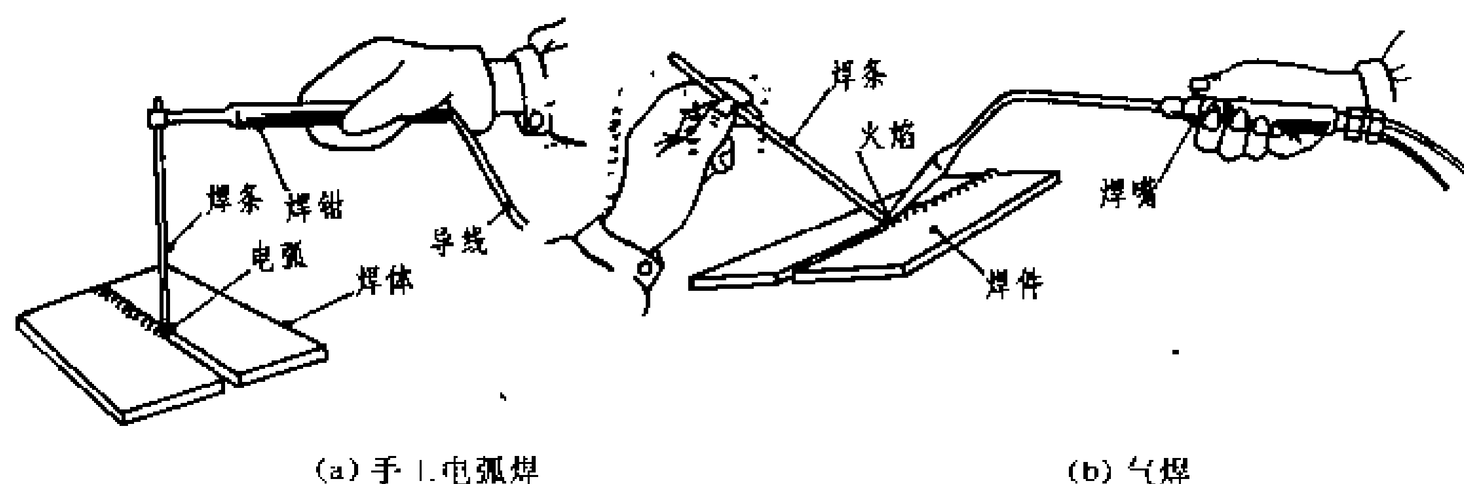
焊接件的接头和焊缝型式，如图 11-16 所示。常用的接头有对接、角接、T 形和搭接等。

(1) 对接接头——两焊件在同一平面内，如图 11-16a；

(2) 角接接头——两焊件成一定角度(如 90°)，如图 11-16b；

(3) T 形接头——两焊件成 T 字形，如图 11-16c；

(4) 搭接接头——两焊件有一段搭接在一起，如图 11-16d。



(a) 手工电弧焊　　(b) 气焊

图 11-15　电弧焊与气焊

常用的焊缝是对接焊缝(如图 11-6a)和角焊缝(如图 11-6b、c、d)。

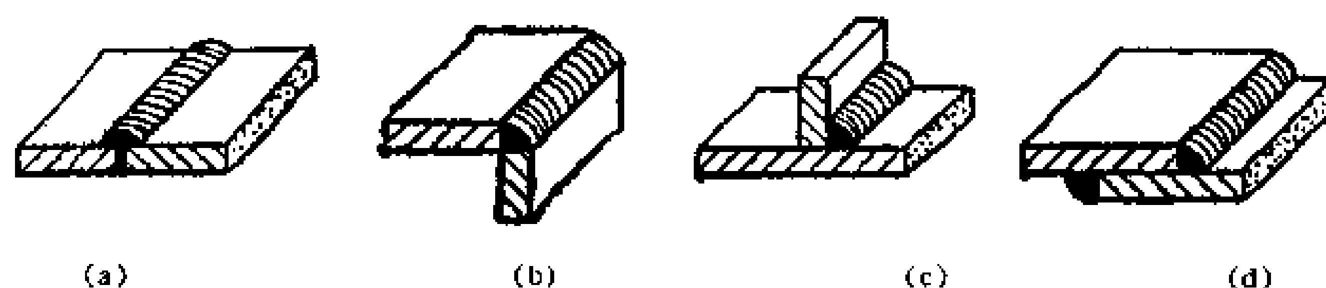


图 11-16　焊接件的接头和焊缝型式

11.4　焊缝符号及其标注方法

在焊接图上应注上焊缝符号，以说明接头的型式和焊缝的要求。《焊缝符号表示法》(GB324 — 88)规定了在图样上标注焊缝符号的规则。

焊缝符号一般由基本符号与指引线组成。必要时，还可以加上辅助符号、补充符号和焊缝尺寸符号。焊缝图形符号的线宽和字体的笔划宽度相同(约等于字体高度的十分之一)。

11.4.1　焊缝符号

1. 基本符号

基本符号是表示焊缝横截面形状的符号，见表 11-1。

表 11-1　基本符号

名　称	示意图	符　号	名　称	示意图	符　号
I 形焊缝		‖	带钝边 U 形焊接		Y
V 形焊缝		V	带钝边 J 形焊缝		
单边 V 形焊缝		V	封底焊缝		◡
带钝边 V 形焊缝		Y	角焊缝		⊿
带钝边单边 V 形焊缝		Y			

2. 辅助符号

辅助符号是表示焊缝表面形状特征的符号。见表 11-2。

表 11-2　辅助符号

名　　称	示意图	符　　号	说　　明
平面符号		—	焊缝表面齐平（一般通过加工）
凹面符号		◡	焊缝表面凹陷
凸面符号		⌒	焊缝表面凸起

不需要确切地说明焊缝的表面形状时，可以不用辅助符号，辅助符号的应用示例见表 11-3。

表 11-3　辅助符号的应用示例

名　　称	示意图	符　　号
平面 V 形对接焊缝		
凸面 X 形对接焊缝		
凹面角焊缝		
平面封底 V 形焊缝		

3. 补充符号

补充符号是为了补充说明焊缝的某些特征而采用的符号，见表 11-4。补充符号的应用示例见表 11-5。

表 11-4　补充符号

名　　称	示意图	符　　号	说　　明
带垫板符号		▭	表示焊缝底部有垫板
三面焊缝符号		[	表示三面带有焊缝

续　表

周围焊缝符号			表示环绕工件周围焊缝
现场符号			表示在现场或工地上进行焊接
尾部符号			可以参照 GB5185 标注焊接工艺方法等内容

表 11-5　补充符号应用示例

示意图	标注示例	说　　明
		表示V形焊缝的背面底部有垫板
		工件三面带有焊缝，焊接方法为手工电弧焊
		表示在现场沿工件周围施焊

11.4.2　符号在图样上的位置

完整的焊缝表示方法，除了基本符号、辅助符号、补充符号以外，还包括指引线、一些尺寸符号及数据。

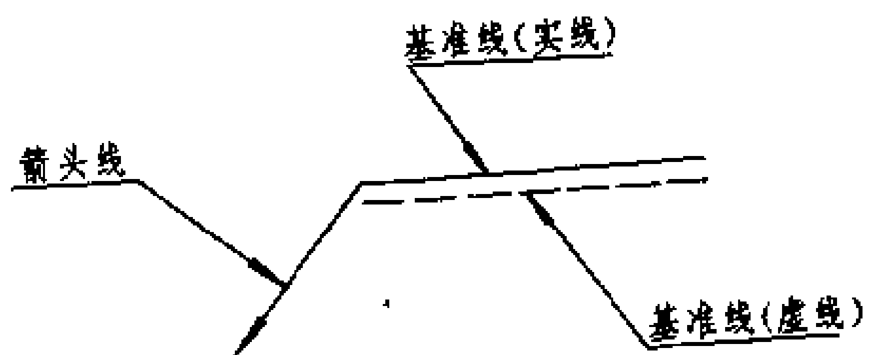


图 11-17　指引线

指引线一般由带有箭头的指引线(简称箭头线)和两条基准线(一条为实线，另一条为虚线)两部分组成。如图 11-7 所示。箭头线和实线基准线均用细实线绘制。

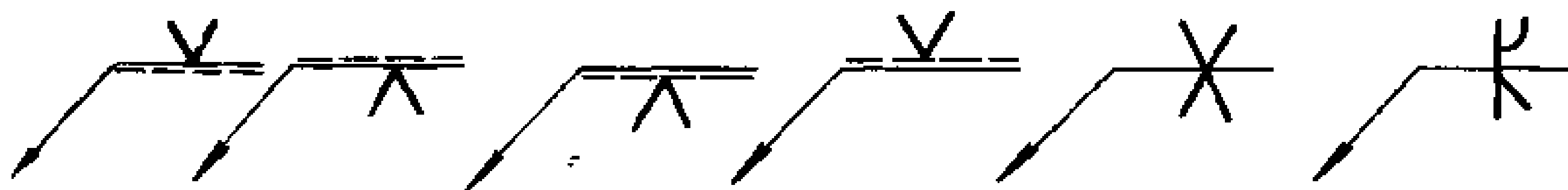
基准线的虚线可以画在基准线的实线下侧或上侧。基准线一般应与图样的底边相平行，但在特殊条件下也可与底边相垂直。

为了能在图样上确切地表示焊缝的位置，特将基本符号相对基准线的位置作如下规定：

(1) 如果焊缝在接头的箭头侧，则将基本符号标在基准线的实线侧，见图 11-18a。

2. 如果焊缝在接头的非箭头侧，则将基本符号标在基准线的虚线侧，见图 11-18b。

3. 标注对称焊缝及双面焊缝时，可不加虚线，见图 11-18c,d。



(a) 焊缝在接的箭头侧　　(b) 焊缝在接头的非箭头侧　　(c) 对称焊缝　　(d) 双面焊缝

图 11-18　基本符号相对基准线的位置

11.4.3　常见焊缝的标注示例

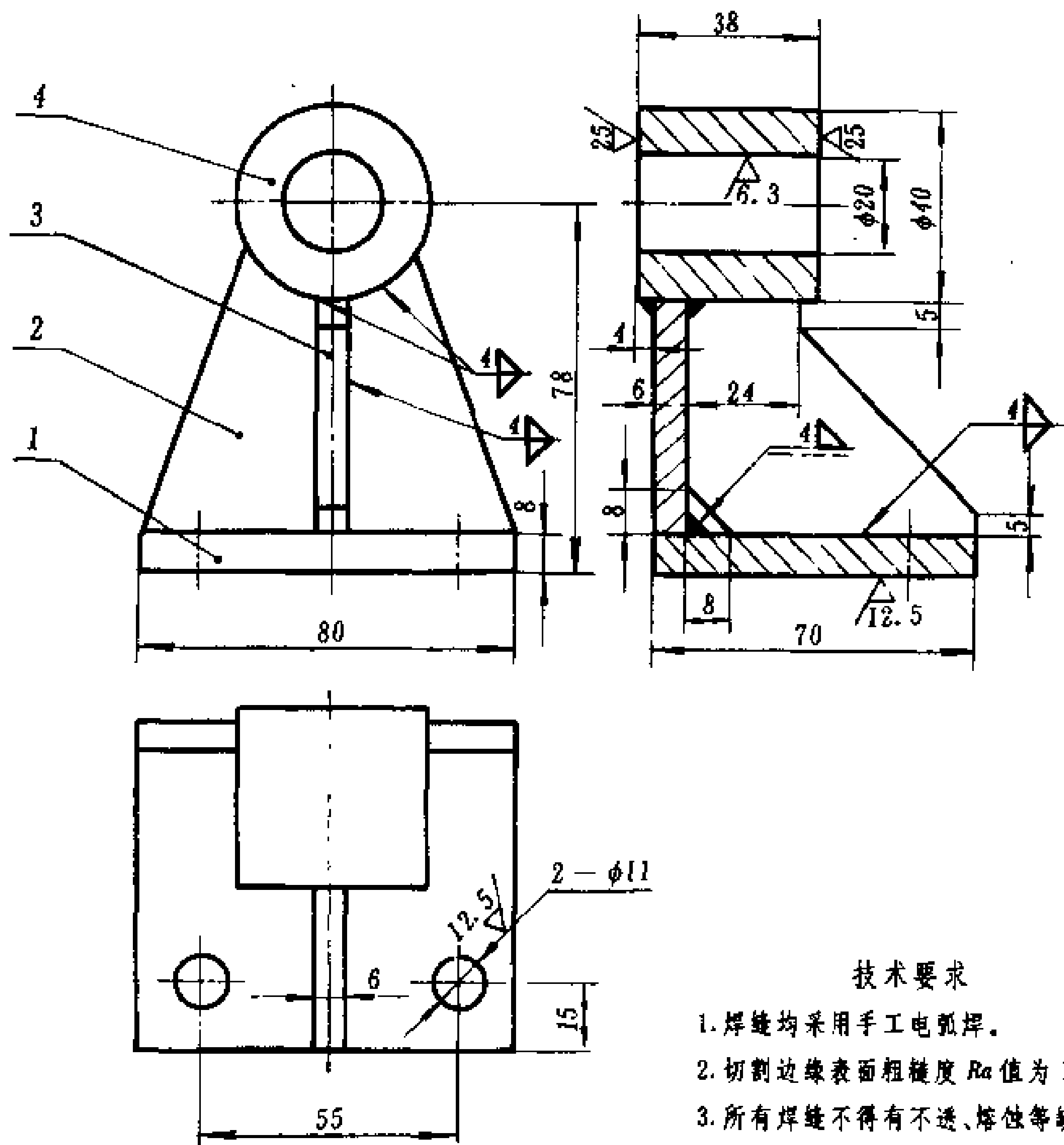
常见焊缝的标注示例见表 11-6。

表 11-6　焊缝的标注示例

接头型式	焊缝型式	标注示例	说　　明
对接接头			111 表示用手工电弧焊，V形焊缝，坡口角度为 a，对接间隙为 b，有 n 条焊缝，焊缝长度为 l。
			▶ 表示在现场装配时进行焊接。 ◁▷ 表示双面角焊缝，焊角高度为 K。
T 形接头			$n \times l(e)$ 表示有 n 条对称断续角焊缝。l 表示焊缝的长度，e 表示断续焊接的间距。
			Z 表示交错断续角焊缝。
角接接头			⊏ 表示三面焊接。 ◺ 表示单面角焊缝。

当同一图样上全部焊缝所采用的焊接方法完全相同时，焊缝符号尾部表示焊缝方法的代号可省略不注，但必须在技术要求注明："全部焊缝均采用 …… 焊"等字样；当大部分焊接方法相同时，也可在技术要求或其他技术文件中注明，"除图样中注明的焊接方法外，其余焊缝均采用 …… 焊"等字样。

其余 ∇



技术要求

1. 焊缝均采用手工电弧焊。
2. 切割边缘表面粗糙度 Ra 值为 100μm。
3. 所有焊缝不得有不透、熔蚀等缺陷。

序号	代号	名称	材料	数量	备注
4		圆筒	Q235—A	1	
3		肋板	Q235—A	1	
2		侧板	Q235—A	1	
1		底板	Q235—A	1	

部件名称	机座			第 张			93.11.00
设计		制图		数量	共 张	比例	净重
审核		描图					
批准		校对					

图 11-19　机座焊接图

11.5 焊接图画法

焊接件图样应能清晰地表示出各焊件的相互位置，焊接要求以及焊缝尺寸等。如不附有焊件详图时，还应表示出各焊件的形状、规格大小及数量。

焊接图应具有以下内容：

(1) 表达焊接件结构形状的一组视图。

(2) 焊接件的规格尺寸，各焊件的装配位置尺寸以及焊后加工尺寸。

(3) 各焊件连接处的接头型式、焊缝符号及焊缝尺寸。

(4) 构件装配、焊接以及焊后处理，加工的技术要求。

(5) 说明焊件型号、规格、材料、重量的明细栏及焊件相应的编号。

(6) 主标题栏。

焊接图的表达形式和特点：

(1) 整件形式

其特点是：在一张图上，不仅表达了各焊件的装配、焊接要求，而且还表达每一焊件的形状和大小，除了较复杂的焊件和特殊要求的焊件外，不再另绘焊件图。这种图样形式表达集中，出图快，适用于修配或小批量生产。

(2) 分体形式

其特点是：它附有每一焊件的详图。焊接件图重点表达装配连接关系，是用来指导焊件的装配、施焊及焊后处理的依据。各种焊件的形状、规格、大小分别表示在各焊件图上，这种图样形式完整、清晰、方便，交流、看图比较单纯；适用于大批量生产，分工较细的情况。

(3) 列表形式

其特点是：当结构复杂、各焊件之间的焊缝型式和焊缝尺寸不便于在图上清晰表达时，可采用列表形式将相同规格各焊件的同一种焊缝型式及尺寸集中表示。

图 11-19 是机座的焊接图。从图中可以看出，它是以整体形式来表示的。由底板、侧板、肋板和圆筒四部分组成。焊缝均为角焊缝，有单面焊，也有双面焊，焊角高度均为 4mm。技术要求说明，焊缝均采用手工电弧焊焊接而成。其余与一般图样基本相同。

思 考 问 题

11.1　试述可展曲面与不可展曲面的区别？

11.2　试述常用的三种展开图画法及其应用。

11.3　如果变形接头是上方（小口）下圆（大口），它的图形起怎样的变化，作图步骤应从何处着手。

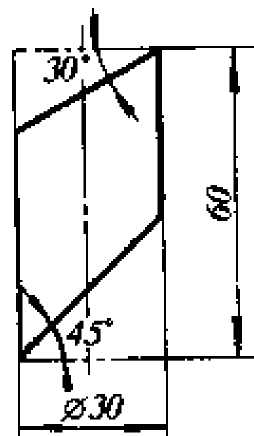
11.4　试想出附图 11-1 两端带有斜切口的正圆柱面的展开形状。

11.5　常用的有哪几种焊接接头？

11.6　试述焊缝的基本符号、辅助符号和补充符号有哪些区别？

11.7　焊接图应具有哪些内容。

11.8　常用的焊接图有哪几种表达形式及其特点。



附图 11-1

第12章　计算机绘图

内容提要　本章介绍有关计算机绘图的基本知识；它的发展与应用；研究的内容与学习方法；所必须的硬件、软件及其功能；图形程序的设计方法；图形的交互功能等。

12.1　计算机绘图的发展与应用

工程图样是工程界表达和交流技术思想的重要工具，已有很长的历史。但到目前为止，工程制图的绝大部分工作仍然是手工操作，其结果是效率低、速度慢、耗费大量人力和时间，这种状况与现代科学技术的高速度发展很不适应，因此，自动地产生并绘出图样成了人们长期以来的愿望。当世界上出现了电子计算机以后，这个愿望终于成了现实。

电子计算机是一种能自动高速进行大量数字处理和运算的电子设备。当人们探讨了数字与图形之间的内在关系后，发现在图形和数字之间可以建立某种转换关系，利用电子计算机来进行图数之间的转换，就为绘图工作自动化提供了理论基础。

由于计算机技术的发展和计算机应用范围的不断扩大，出现了由计算机控制的自动绘图系统，它的特点是不仅绘图速度快，而且作图精度高，这给绘图工作带来了革命性的变革，为实现绘图自动化和设计自动化提供了物质基础。

自动绘图的研究开始于20世纪50年代。1958年，美国Calcomp公司试制了第一台滚筒式自动绘图机。在此前后，美国Gerber公司试制了第一台平台式自动绘图机。这就改变了电子计算机只能用数字、文字、符号输出的现象，而能直接输出图形了。自动绘图机诞生以来，发展极为迅速。在技术先进的国家中，很多部门都纷纷引用。目前，自动绘图技术正向高精度、高速度、多功能、大型、微型等方向发展。

1967年，我国开始了自动绘图机的研制工作，并先后在上海和内蒙古试制成功了LZ5型和MSB－1型$X-Y$数控绘图机。1973年，又在上海开始研制大型数控绘图机的工作，于1976年试制成具有70年代初期国际水平的HTJ－1855型大型数控绘图机。目前，国内已有许多工厂生产多种型号的滚筒式绘图机和平台式绘图机。在北京、上海等地又研制出新型高速平面电机式绘图机。

我国在计算机绘图的软件研制上取得了很大成绩，已有较完整的符合我国国情的汉化的为机械、建筑、船舶等行业服务的支撑系统，有的在工程工作站上使用，有的以微机为基础，具体产品的应用系统就更多了。国家也很重视国产化软件系统，定期对自主版权软件进行评测。由于我国幅员辽阔，行业门类多，对新技术的起步晚，各地区、各部门的发展又极不平衡，所以我们应充分看到我国计算机绘图、计算机辅助设计的艰巨任务和巨大的发展前景，它在我国具有显著的经济效益及潜在的市场价值。

在船舶设计中，绘图工作量约占60%。应用计算机绘图可显著地提高绘图速度和质量。这不仅缩短设计周期，而且在船体放样中还可供数控切割机在切割前对数控纸带进行校验。图12-1是自动绘图机绘制的艏部肋骨线。

在飞机外形设计中，可把计算机的计算结果直接绘制成模线，而且从自动绘图发展为设

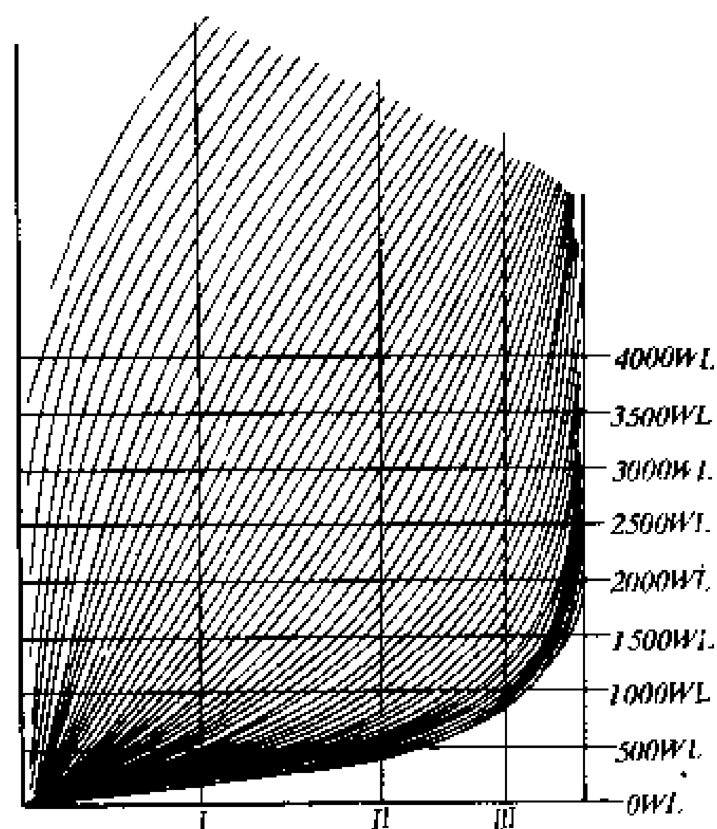


图 12-1 船部肋骨线

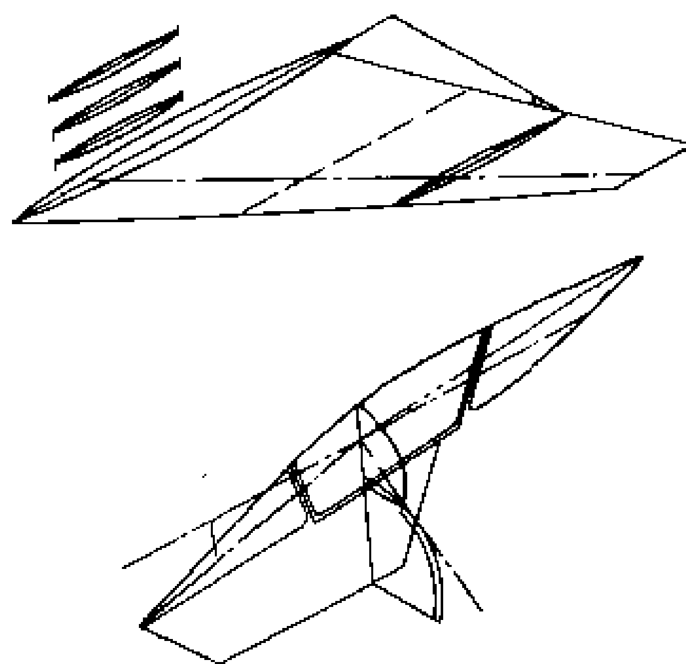


图 12-2 飞机机翼及座舱的外形设计图

计、绘图、生产一体化。图 12-2 是计算机绘制的飞机机翼和座舱外形设计图。

在技术发达国家中，汽车制造部门为满足用户的需要经常修改车身外形，这项工作已较广泛地应用计算机来完成，并取得了显著效果，如图 12-3 是计算机绘制的汽车车身透视图，此外还能提供制作样板时所需的各截面曲线的实形和加工曲面的冲模图样。

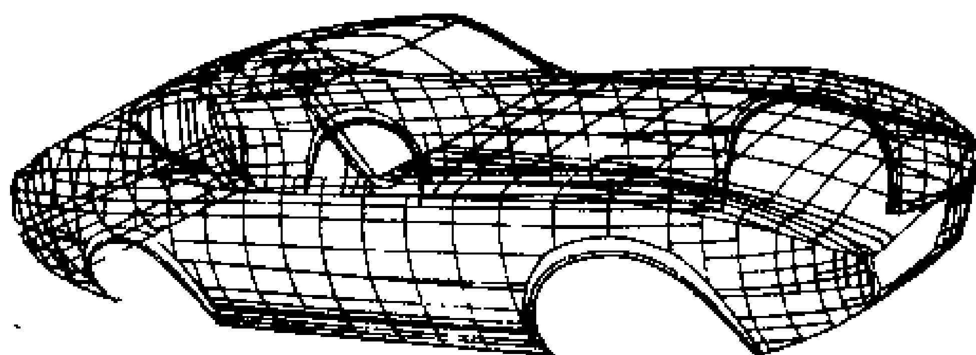


图 12-3 汽车车身透视图

图 12-4 是根据航空摄影的照片、由计算机通过绘图机绘制的等高线图。

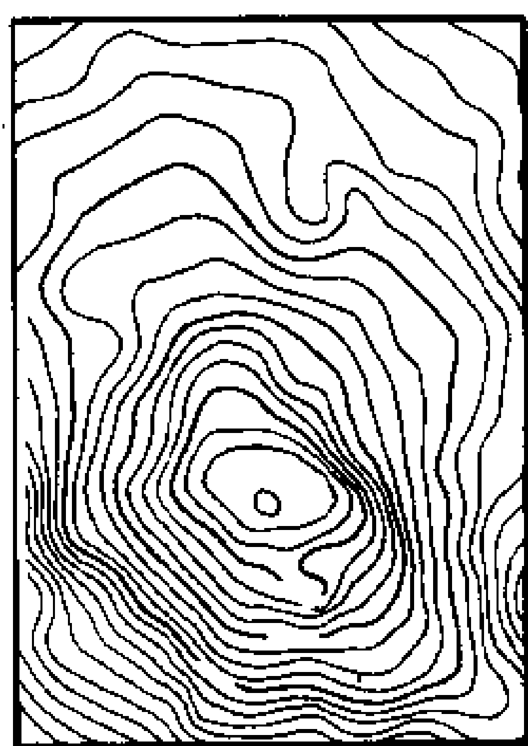


图 12-4 等高线图

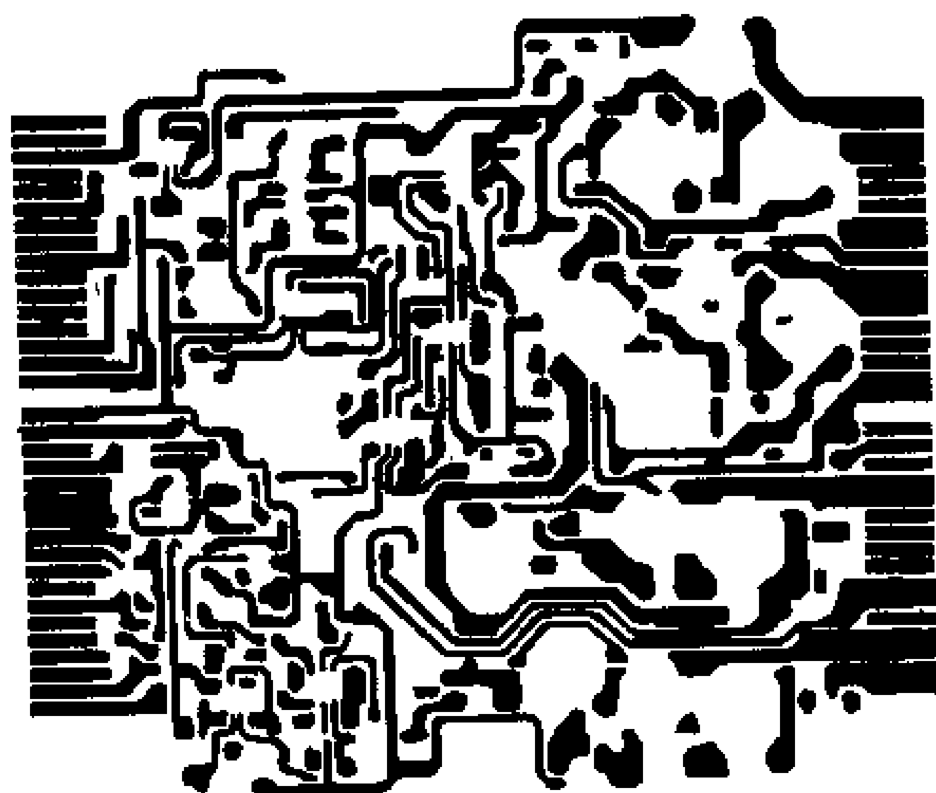
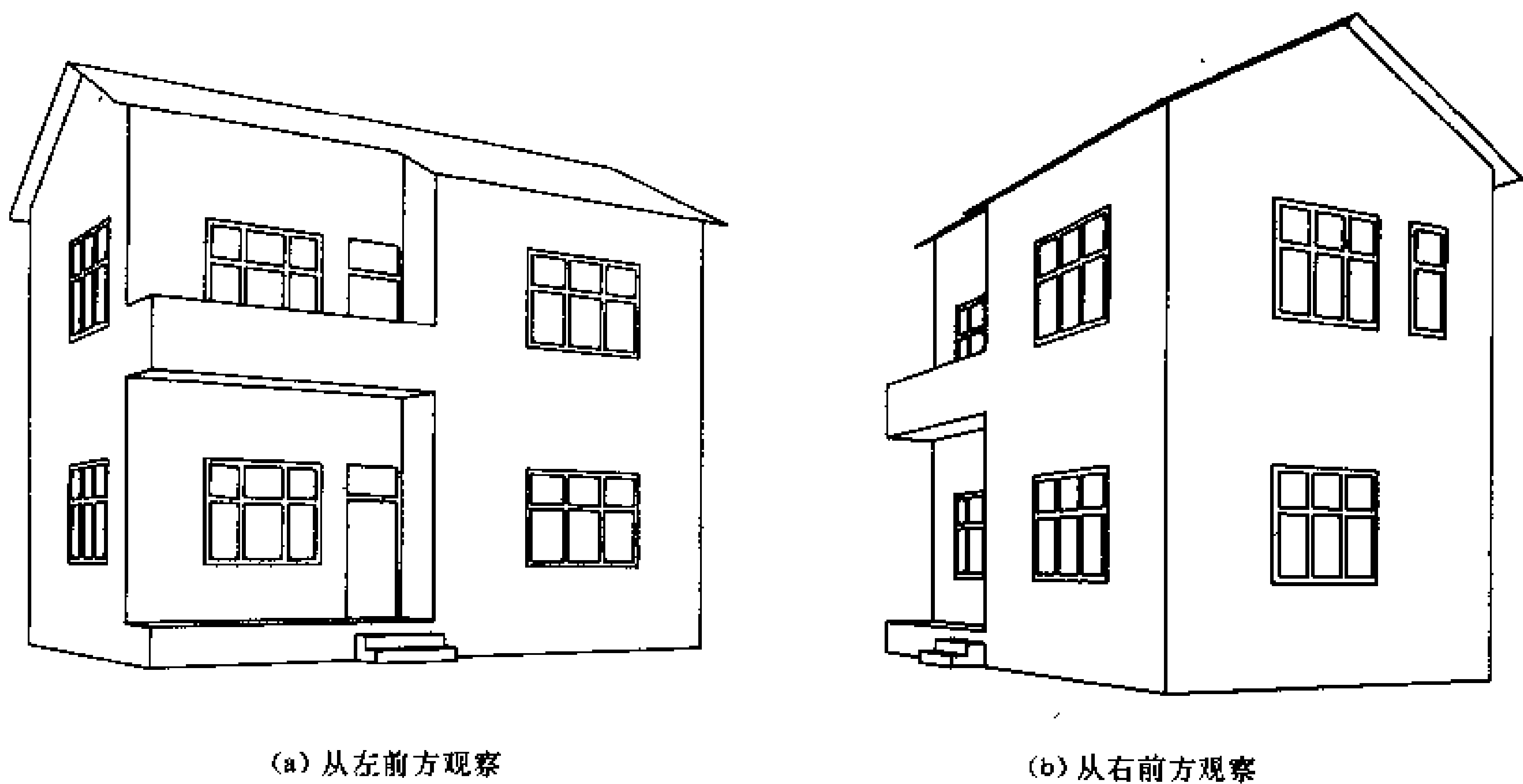


图 12-5 印刷线路板

在电子工业方面，可利用计算机绘图设计印刷线路板（见图 12-5）和绘制高精度的大规模

集成电路掩膜总图。



(a) 从左前方观察　　　　(b) 从右前方观察

图 12-6　住房模型透视图

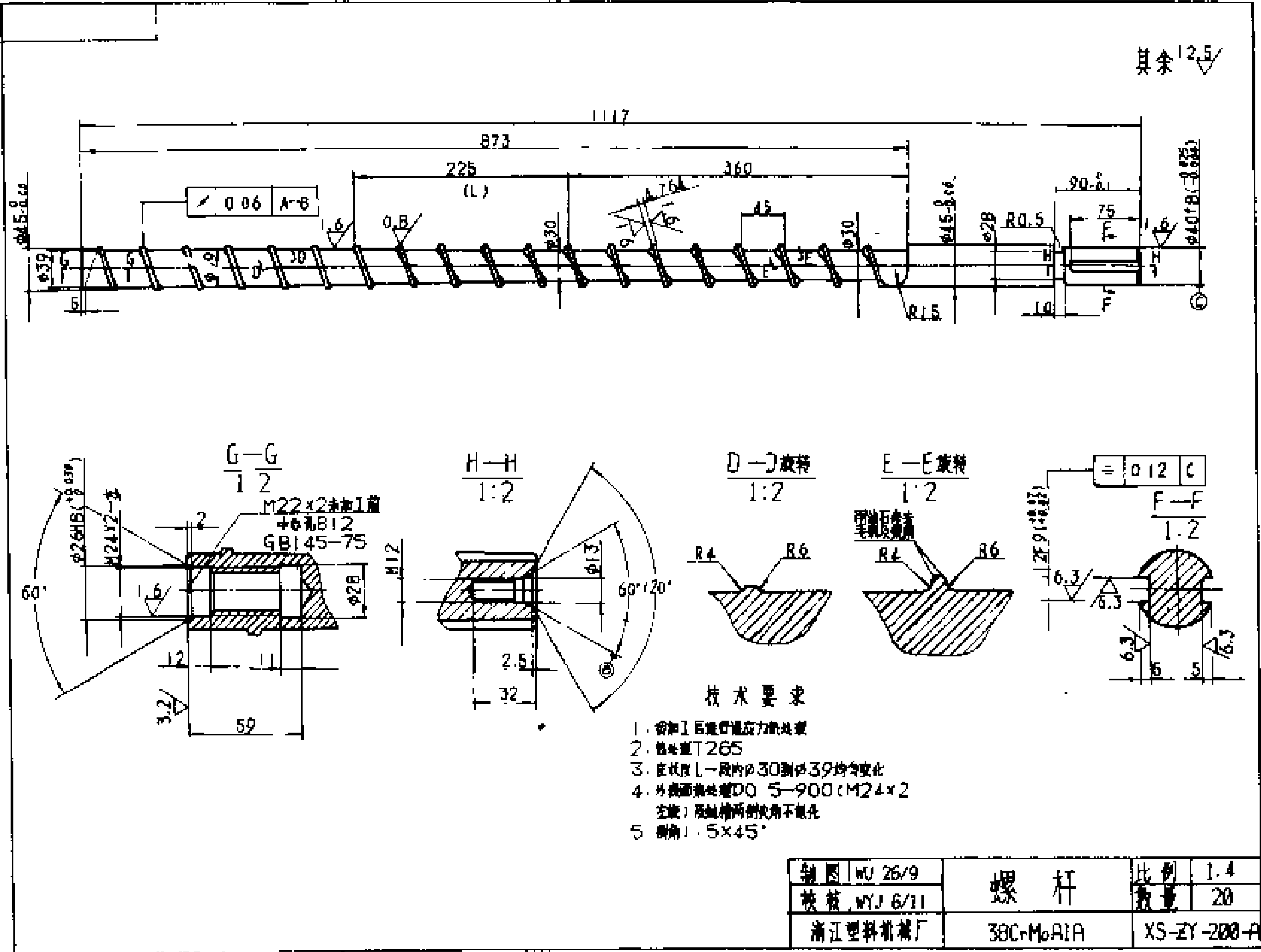


图 12-7　螺杆

图 12-6a,b 是利用计算机绘制的住房模型透视图。根据该住房的数据结构,可从任意方向画出住房透视图(图中只画出两个方向),这样就使设计者或用户可从不同方向观看房子外形,从而较全面地了解房子。

对系列化机械产品,可根据设计参数编制计算机图形处理程序。使用时,只需要填入不同参数就可绘制不同规格的零件图、装配图。图 12-7 就是由绘图机绘制的螺杆零件图。

计算机绘图涉及到多门学科,应用范围越来越广,现正在受到多方面重视并获得迅速发展,本章仅介绍有关计算机绘图的初步知识。

12.2 计算机绘图的学习内容与学习方法

对大学一年级的学生来讲,计算机绘图的学习内容就是本章列出的各节标题,每个标题下包含着一个或几个基本内容。简单地说,计算机绘图的任务是如何利用计算机来处理图形。主要学习下列四项基本内容:

1. 图形的输入

学习如何把要处理的图形输入到计算机内,以便让计算机进行各种处理。

2. 图形的生成与输出

学习如何利用计算机处理图形、其在计算机内的表示方法,以及在显示屏和绘图机(仪)上输出图形。

3. 图形变换

本章所指的变换是图形的几何变换,如形状大小的变换,形状位置的变换等。

4. 图形的组合、分解和运算

用简单图形组成复杂图形和把复杂图形分解为简单图形,以及图形间如何进行并、交、差等运算。

本章对这四方面基本内容都会涉及到,受篇幅所限,不能阐述得很深入,学生也只能初步了解和掌握有关知识,为今后进一步的深入研究和应用打好基础。

根据我们多年来教学、科研和生产实践的体会,对如何学习计算机绘图归纳为以下六点:

(1) 这是一门实践性很强的课程,很多规则、命令,很多知识性的内容都要通过实践来掌握,实践的主要形式是上机操作,也通过上机操作熟悉计算机的设备与使用。

(2) 图形是二维空间或三维空间里很具体的由各种平面、曲面和线条组成的表示某种形状的东西,应勤于空间构思和编程设计。

(3) 计算机绘图要用到算法语言、系统软件、数学处理、工程技术等有关知识,所以学习者应善于将各方面知识综合应用。

(4) 程序编写完毕并作认真检查,输入计算机,然后耐心调试,程序调试中出现错误时,应寻找出错的根本原因,积极思考、发现出错的规律性。根据显示屏上输出的图形认真检查、修改。

(5) 在编写程序和调试过程中,应及时总结,积累经验,提高程序设计和调试能力。

(6) 如果有合适的科研项目,应将所学知识、技能与课题相结合,在科研和生产中应用计算机绘图,取得实际效果。

12.3 计算机绘图的硬件系统

这里所讲的计算机绘图的硬件系统，是指微型计算机、包括绘图机在内的外部设备及它们之间的相互关系。图 12-8 表示该绘图系统中不可缺少的设备，如主机、磁盘驱动器、显示终端、键盘、打印机、绘图机等。下面分别说明它们的功能及其相互关系。

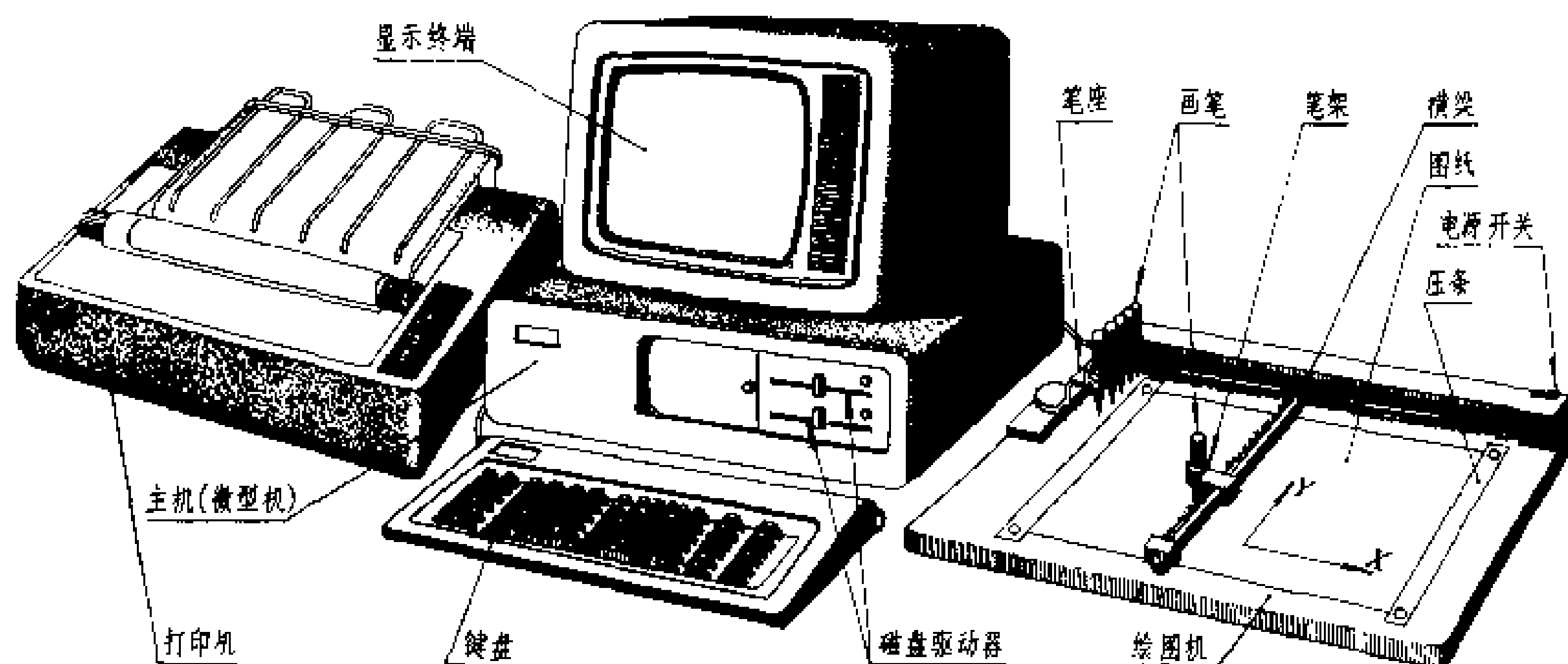


图 12-8 计算机绘图的硬件系统

1. 主机

计算机主机包括中央处理机(CPU)和内存贮器(内存)。中央处理机由两部分组成：① 控制器 —— 用以操纵计算机各部分，按照程序的要求协调动作，也可由人工用键盘进行操作。② 运算器 —— 完成计算机的各种算术运算和逻辑运算。

存贮器用以存放计算一个问题的步骤及原始数据，以及计算的中间结果和最终结果。存贮器的一个重要特点是，从它的每个单元中取出信息后，该单元中原有信息不破坏，只有当送入新的信息后，才取代原来的信息。

除计算机内存外，它还有外存贮器，这是计算机的外部设备。外存可存放大量信息，在操作系统控制下，它在方便用户和提高计算机使用效率方面能发挥很大作用。

计算机的主机及输入、输出设备的关系如图 12-9 所示。

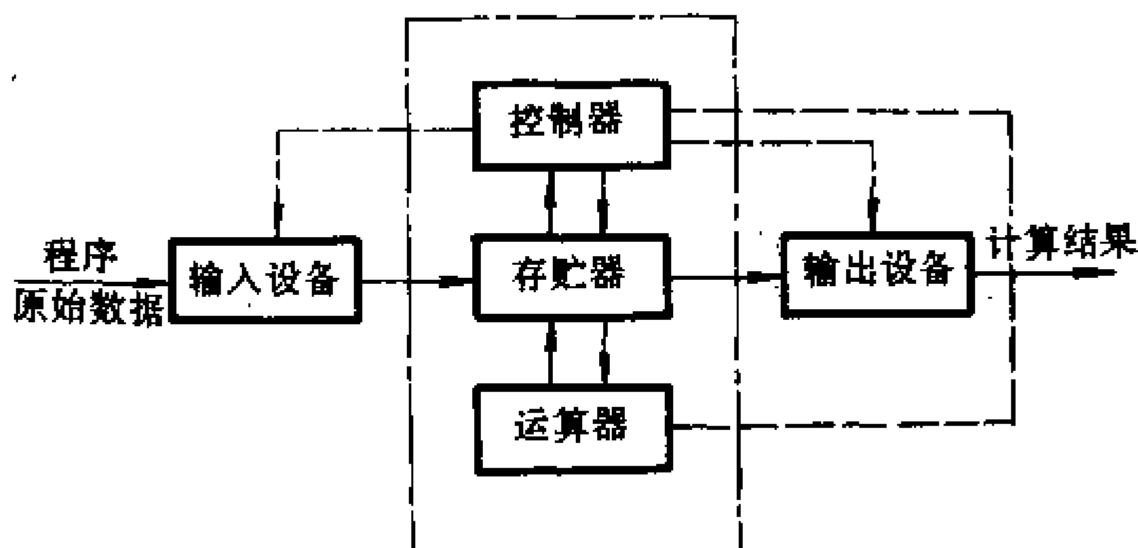


图 12-9 计算机组成框图

2. 磁盘驱动器

磁盘驱动器用以放置磁盘，磁盘上载有一定信息，通过磁盘驱动器将磁盘上的信息输入主机，经过主机处理过的一批信息也可输出到磁盘上，以便长久保存。它是计算机的输入、输出设备。

图 12-8 所示的磁盘驱动器习惯上称为软盘驱动器，其上放置的磁盘称为软盘，很多计算机还配置硬盘，它密封在机器的铁壳内部，硬盘的存贮量都很大。

3. 显示终端

显示终端主要显示字符，使用户及时知道与主机交换的信息。主机内部的已有信息也可用显示终端来显示，磁盘上的信息也可通过主机在显示终端上显示。另外，该设备也可显示图形。无论显示字符还是图形，显示终端只作输出设备用。

4. 键盘

键盘上面有很多键，用户按规定方式操纵键盘，直接向主机输入信息。在输入的同时，这些信息以字符的形式在显示终端上显示。

5. 打印机

主机内或磁盘上的信息可通过打印机输出一份清单，清单内容可以是程序、数据等。打印机也可打印图样，即作图形输出用。

6. 绘图机

利用绘图语句或绘图程序，使主机向绘图机输出绘图信息(指令)，绘图机就能画出用户所需要的图样。关于绘图机的结构，下面再作进一步介绍。

主机与各外围设备之间的关系用框图表示在图 12-10 中。

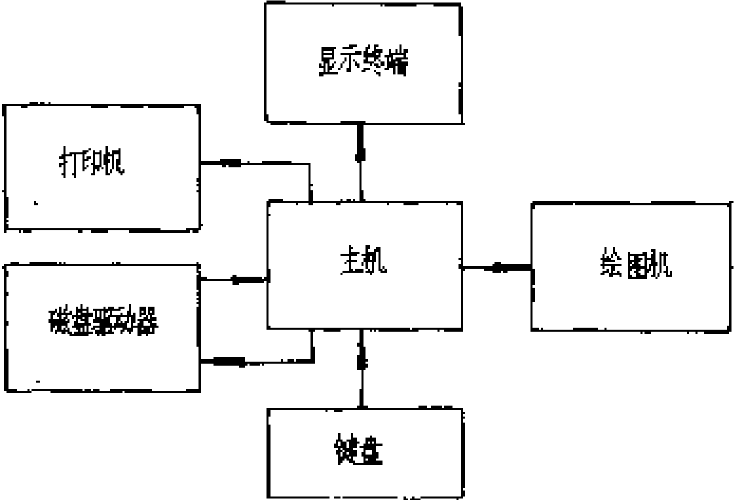


图 12-10　计算机绘图系统框图

7. 两种绘图机的结构

绘图机主要有平台型和滚筒型两种。

平台型绘图机(图 12-8 右边)是在平台上固定图纸，由主机发来各种绘图指令和相应的数据，通过 X、Y 方向运动的步进电机(或伺服电机)带动传动机构，把运动传递给笔架装置，使笔架上的画笔在绘图纸上作相应的 X 轴或 Y 轴方向的移动。相应于单位脉冲的画笔移动量称为步长，一般绘图机步长为 0.05 ～ 0.1mm 每脉冲。

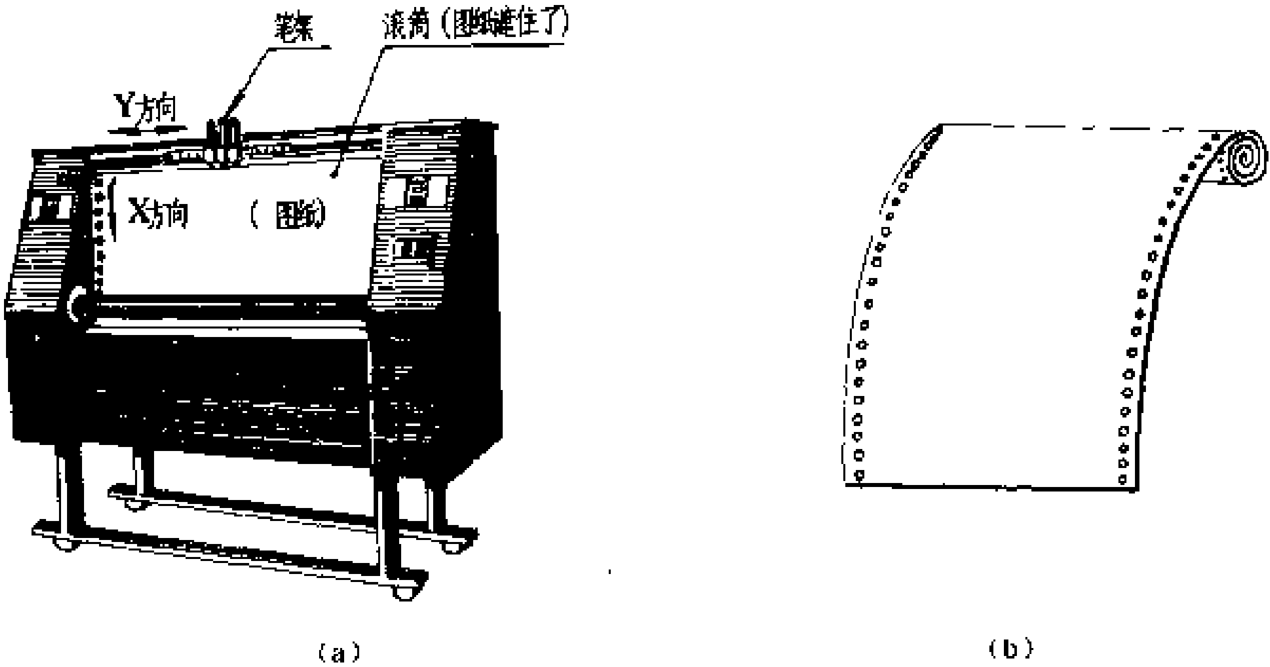


图 12-11　滚筒型绘图机

滚筒型绘图机(图 12-11a)是将图纸紧密地卷在滚筒上,纸的两边有小孔(图 12-11b)。绘图时,滚筒旋转,滚动两端的扣针带动图纸作 X 方向移动,笔架带动画笔作 Y 方向移动,两个动作相互配合,从而绘出所需的图样。

绘图机一般只作图形输出设备用,但有的绘图机也能作输入设备。

另外,光笔、数字化输入板等输入设备的功能在 12.8 节中介绍。

12.4 图形软件的基本要求和规定

12.4.1 图形软件概述

计算机只具备进行数据运算处理的能力,故在进行图形处理时,必须将图形信息转换成数据并输入计算机,计算机对此数据进行处理后再作图形信息输出,实现这一过程必须解决图形的信息输入、图形数据处理和图形输出的有关软件。

绘图软件按其层次一般分一级、二级、三级软件。一级软件是最基本的软件,具有生成最基本的图形元素、字符以及控制主机和外围设备信息传送等功能,能为各种类型的绘图软件服务,具有较大的通用性。二级软件是在一级软件的基础上建立起来的,具有一定的针对性,因为它是直接支撑某一类应用软件的,所以常称之为支撑软件。本章阐述的就是机械 CAD 图形支撑软件,主要为机械产品服务,二级软件直接与用户见面。三级软件是在二级软件基础上建立起来的属于专用性的应用软件,用户根据需要自行设计,针对性强,适用面也限于用户产品的某类行业。

目前国内外研究实用性的计算机生成机械产品图样常采用以下两种方法:其一是交互式的图形处理,将计算机及其外围设备如同图板似地为入服务,生成一幅图形后除可以继续修改外,还可作整个图形的线性变换,图形信息可以存贮在硬盘上,供以后读出再用。但是同一系列不同参数值的图形是不能用这种方法获得的,它的优点是生成一幅图形时无需编程序,它的缺点是生成的图形无法参数化。

其二是根据系列化产品的参数编写程序,以满足系列化产品图样的需要,如图 12-12 所示图形需要 S1、S2、S3、R、D 五项参数,根据此五项参数编制图形程序就可以绘制系列化产品的图形。由参数确定的图形也可进行交互修改,但这样编写的程序对不同系列无通用性,不同系列需编不同的程序。

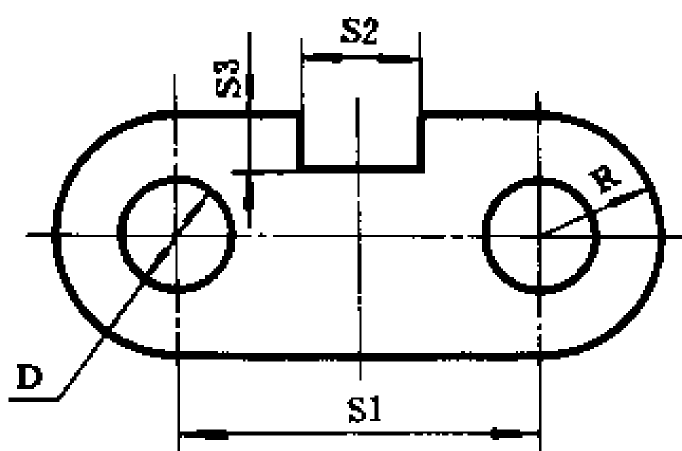


图 12-12 由参数确定图形

交互方式生成的图形不能参数化,参数化方式生成的图形必须编写源程序,这是目前实用性的计算机生成机械产品图样的现状,更完美的计算机图形系统需广大从事 CG/CAD 工作的人员去开发、创造。

12.4.2 机械 CAD 图形支撑软件的内容与要求

图形支撑软件是机械 CAD 的主要基础技术,是计算机生成机械图样必不可少的部分。当编制机械产品图样的应用软件时,需要图形的支撑软件为其服务,它包括:生成各种线型和若干基本功能的绘图程序;图样上各种符号、尺寸的标注程序、生成和调用矢量汉字、字符的程序;在此基础上编制一些功能强、通用性广的基础程序,如交互功能、轮廓识别与剖面线、填色处理等程序。

机械CAD图形支撑软件的要求如下：

(1) 符合我国机械制图国家标准，便于我国机械工程技术人员使用；

① 图形生成方面应包括国标规定的各种线型；

② 符号和尺寸标注应符合国标的有关规定；

③ 应包含我国对汉字处理的特殊要求。

(2) 图形信息输入方便直观，避免重复输入信息，或者用代号表示某个符号而失去直观性；

(3) 要有图形档案，包括基本图形元素的几何信息与线型类别(属性)，对于汉字、符号、箭头等也应有几何信息(定位点坐标、转角等)和编码等保存；

(4) 对图形档案应有存档、读取、修改、删除等功能；

(5) 具有开窗、裁剪、缩放等功能；

(6) 具有交互功能和汉字菜单、汉字指示信息的要求；

(7) 便于将支撑软件移植到别的机器上，以及再扩充；

(8) 用户能方便地接上各种型号的绘图机、显示器等外围设备；

(9) 应有机械图样上常用的图形库。

12.4.3 坐标系统与图形的数值单位

1. 系统坐标原点与用户坐标原点

显示屏的左下角和绘图仪的左下角是系统坐标原点，如图12-13中(O,O)。

用户可利用专用子程序在屏幕上或绘图仪的任意位置定义用户坐标原点，如图中O_{u1}、O_{u2}，其值是相对系统坐标而言的。

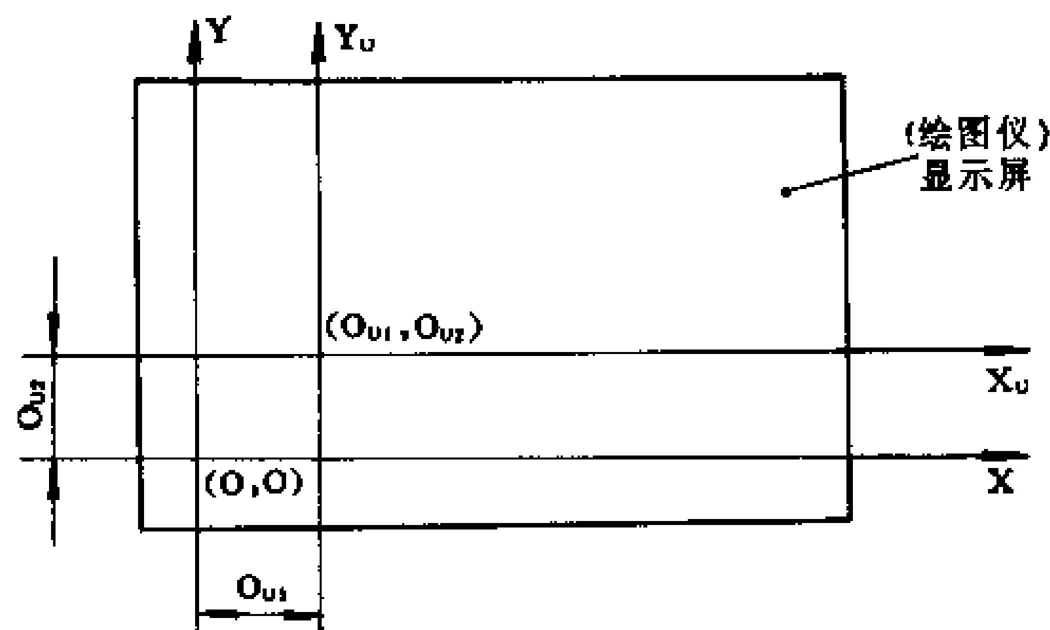


图12-13 系统坐标与用户坐标

调用此子程序后，用户所取的任意点坐标均以用户坐标原点起算。用户坐标原点可取在屏内、屏外，也可与系统坐标原点重合。

2. 坐标轴方向

不论是系统坐标还是用户坐标，从坐标原点水平向右方向为X坐标正方向，反之为负方向。从坐标原点垂直向上为Y坐标正方向，反之为负方向。

3. 绝对坐标与相对坐标

某一点的坐标值以坐标原点(对用户来讲为用户坐标原点)起算的，则为绝对坐标，如图12-14a所示。

下一点的坐标值，相对于当前点的位置起算的，则为相对坐标，相对坐标就是矢量，如图12-14b所示。

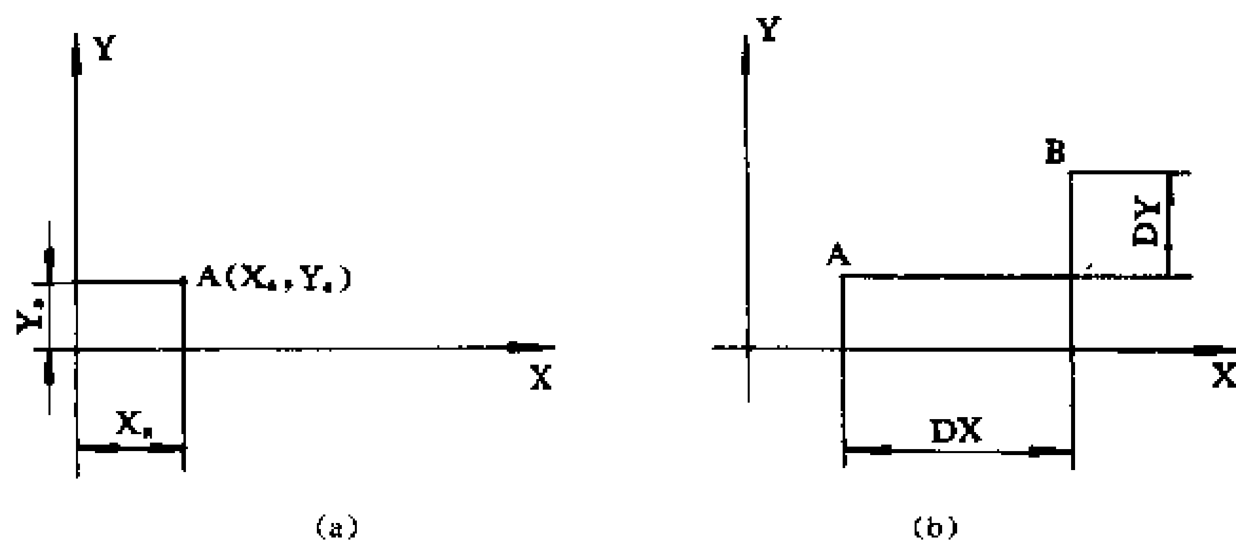


图 12-14　绝对坐标与相对坐标

在第一象限内，点的绝对坐标均为正值。

图 12-14b，*B* 点相对于 *A* 点的相对坐标 *DX*、*DY* 都是正的，而 *A* 点相对于 *B* 点的相对坐标来讲 *DX*、*DY* 都是负的。

4. 图形的数值单位

在 1：1 的前提下，所有子程序中表示长度的变量，如点的坐标、圆弧半径、线段长度等，其参数值体现在屏幕上以光栅为单位，在绘图机(仪)上以毫米为单位。

表示角度的变量，其参数值体现在图形上以度为单位，与比例无关。以逆时针方向生成的角度用正值表示，以顺时针方向生成的角度用负值表示。

12.4.4　图形初始化的要求

图形初始化是对程序进入图形状态时的要求，除了对显示屏置图形模式外，还需对有关标志和图形档案指针置初值，一般有如下内容：

(1) 定义用户坐标原点 ---- 将用户坐标原点与系统坐标原点重合；

(2) 定义比例　　将比例定为 1：1；

(3) 定义比例变换中心 —— 将比例变换中心设在系统坐标原点；

(4) 定义显示状态 —— 显示亮线；

(5) 定义笔划粗细(只对绘图输出有效)—— 画粗线；

(6) 定义当前坐标点 —— 将当前坐标点定义在系统坐标原点；

(7) 定义图幅 --- 将图幅设置为小型台式绘图仪幅面；

(8) 所有图形档案指针置零。

在后面程序中有不同要求时，如需画细线，则可调用改变线型粗细的子程序，以改变笔划粗细状态，其他状态改变也与此类似，提供相应改变有关状态的子程序。

12.5　图形部分子程序

一幅机械工程图样包含两部分信息：其一是图形部分信息，诸如组成图形的各种线型、剖面符号等；其二是标注部分信息，如尺寸标注等。

本节介绍生成图形必须的基本功能子程序和符合机械制图国家标准的各种线型的基本图形元素子程序，以及识别剖面轮廓和画剖面线子程序。

在调用基本图形元素子程序时，系统能自动建立图形元素档案，说明中列出的子程序序号前有"*"号标记的，均为自动建立图形元素档案的子程序。

图形轮廓线在图形处理中是需要系统单独区别出的，如剖面图轮廓线、视图外轮廓线、加工轮廓线等，在图上都有着特殊的意义。有的基本图形元素可作图形轮廓线，有的不能，这些在有关子程序中都作了说明。

12.5.1 基本功能及基本图形元素子程序

1. 初始化子程序 BEGIN(K)

功能：基本图形元素的显示、绘图初始化。

K：输入参数(以下子程序中参数若为输入参数，不作说明，若为输出参数，则作说明)。

$K = 1$ 建立图形档案，同时作显示输出；

$K = 0$ 利用已有图形档案重新显示；

$K < 0$ 利用已有图形档案作绘图输出。

$K = -1$ 在 MP－1000 绘图机上作绘图输出。

$K = -2$ 在 DMP60 系列和 160 系列绘图机上作绘图输出。

调用子程序 BEGIN(K) 后对图形系统的有关标志和图形档案指针置初值，其内容见 12.4.4 部分的介绍。

2. 取点坐标子程序 CURXY(X,Y)

功能：取当前点的系统坐标值。

X、Y：当前点的系统坐标值，输出参数。

3. 显示亮／暗线子程序 CHANGE(N)

功能：用户改变显示亮线或暗线的要求。

N：亮线或暗线标记。

$N = 1$ 显示亮线；

$N = 0$ 显示暗线。

调用该子程序后就按规定的要求，显示亮线或暗线，直至再调用该子程序改变显示线的要求。

4. 定义用户坐标原点子程序 ORIGIN(X0,Y0)

功能：定义用户坐标原点。

X0,Y0：用户定义的坐标原点相对于系统坐标原点的坐标值。

调用此子程序后，用户所取的绝对坐标值，均按此原点起算，如图 12-15 所示，(0,0) 是系统坐标原点，(X_0,Y_0) 是用户坐标原点，点 A 的绝对坐标 X_a、Y_a 系相对 X_0、Y_0 起算。

5. 定义线型粗细子程序 THICK(N)

功能：定义线型粗细。

N：粗细线标记。

$N = 1$ 画细实线，线粗约 0.2mm(绘图笔画一遍)；

$N = 2$ 画中粗实线，线粗约 0.4mm(绘图笔画三遍)；

$N = 3$ 画粗实线，线粗约 0.6mm(绘图笔画三遍)。

该子程序只对绘图起作用。调用该子程序后，一般的直线、圆弧均按此粗细要求画线，若要改变线的粗细时，则再调用该子程序，提出新的粗细要求。

6. 定义比例和比例变换中心子程序 SCALE(S,XS,YS)

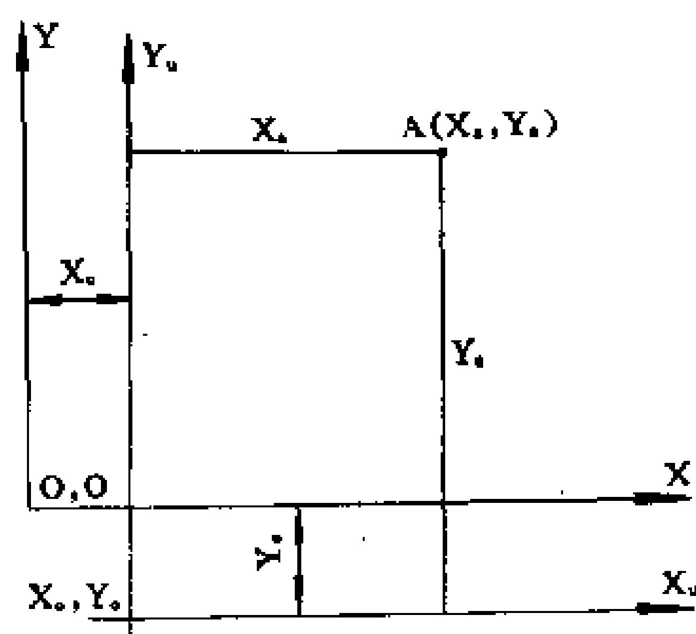


图 12-15　定义用户坐标原点

功能：定义图形输出时所取的比例和比例变换中心。

S：所取的比例大小，一定是正值，且为实型数，S 为比例中的分子，分母为 1。

S = 1　比例为 1∶1，无放大缩小；

S = 0.5　比例为 0.5∶1，缩小一半；

S = 2　比例为 2∶1，放大一倍。

XS、YS：比例变换中心，其坐标值按系统坐标考虑，可以与系统坐标原点重合或不重合。

在非 1∶1 情况下，由于比例变换中心不同，可以使输出的图形所占有的位置不一样，如图 12-16 中，图(a) 是 1∶1 画的图形，图(b) 是 0.5∶1 画的图形，比例变换中心在系统坐标原点，所以图形缩小一半并偏向左下角，图(c) 也是 0.5∶1 画的图形，但比例变换中心在原有图形正中，该图形就按其自身位置缩小。

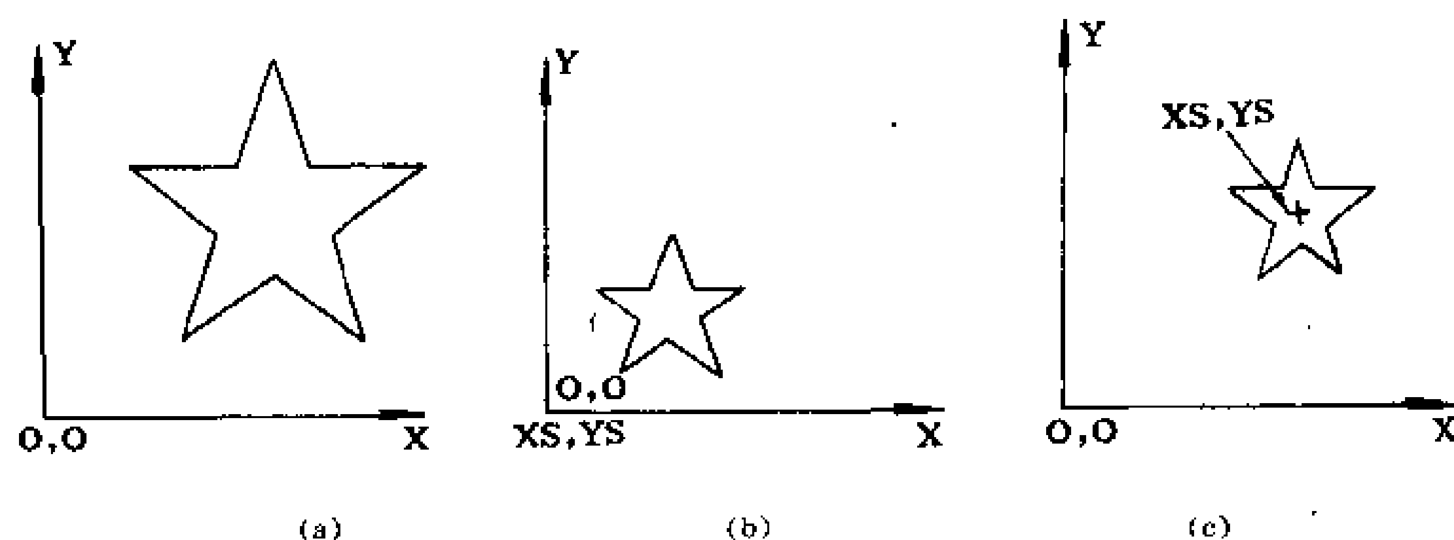


图 12-16　比例及比例变换中心

调用该子程序后，显示或绘图输出的图形均按此比例和比例变换中心绘制，若要改变其中一项，则必须重新调用该子程序，输入新的参数。

7. 开窗子程序 WINDW1(K)

功能：在显示屏上显示一定规格的图样幅面。

K = 0　显示屏上图形显示的单位数与绘图仪上的单位(mm) 数相同，X1 = 345，Y1 = 260，即一般 3 号绘图仪幅面，如 MP-1000 绘图仪，X1、Y1 表示幅面意义，请参看图 12-17；

K = 1　显示屏上图形显示的单位数与 1 号图纸幅面单位(mm) 数相同，X1 = 841，Y1 = 594；

K = 2　显示屏上图形显示的单位数与2号图纸幅面单位(mm)数相同，X1 = 594，Y1 = 420；

K = 3　显示屏上图形显示的单位数与3号图纸幅面单位(mm)数相同，X1 = 420，Y1 = 297；

K = 4　显示屏上图形显示的单位数与4号图纸幅面单位(mm)数相同，X1 = 210，Y1 = 297。

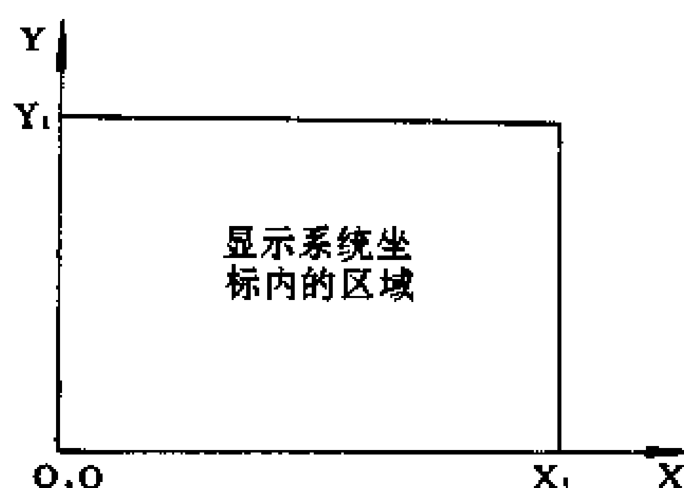


图 12-17　显示某种图样幅图

*8. 画线或定位子程序 LIOPO(X,Y,J)

功能：对于显示，从当前点至目标点的位置显示一根线，或者在目标点的位置定义一个位。对于绘图，从当前点落笔至目标点画一根线，或者从当前点抬笔至目标点。

按调用该子程序前的最近 THICK 的值确定线型粗细，见图 12-18，其粗实线与中粗实线可作为图形轮廓线，由此子程序生成的细实线不作为图形轮廓线。

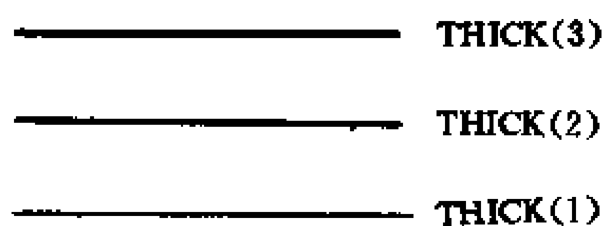


图 12-18　不同粗细的直线

X，Y：目标点坐标。

J：相对、绝对、抬笔(位)、落笔(画 / 显示线) 的标记。

J = 0　绝对坐标，位移(抬笔) 至目标点；

J = 1　绝对坐标，显示线(落笔) 至目标点；

J = 2　相对坐标，位移(抬笔) 至目标点；

J = 3　相对坐标，显示线(落笔) 至目标点。

图 12-19(a) 表示当前点坐标是(9,44)，要求从当前点位移到(55,10)。

调用形式　CALL LIOPO(55.,10.,0) 绝对坐标位移(抬笔)；

或者用　CALL LIOPO(46., − 34.,2) 相对坐标位移(抬笔)。

图 12-19(b) 表示当前点坐标是(9,44)，要求从当前点画线到(55,10)。

调用形式　CALL LIOPO(55.,10.,1)　绝对坐标显示 / 画线；

或者用　CALL LIOPO(46., − 34.,3)　相对坐标显示 / 画线。

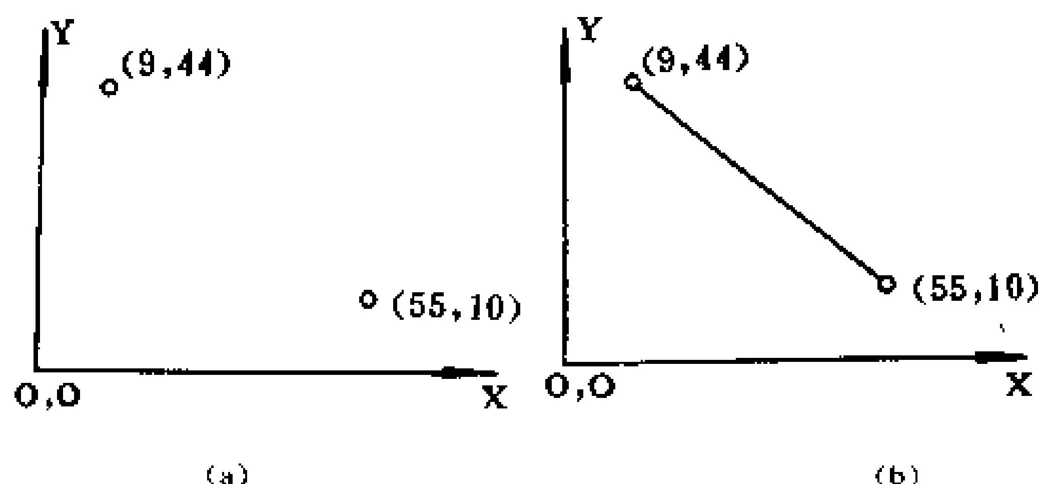


图 12-19　位移(抬笔) 与显示线(落笔)

*9. 画细线子程序 LIOPOS(X,Y,J)

功能：进入该子程序时自动置画细线标记，退出时恢复原来线的粗细标记，该子程序生成的细实线可作为图形轮廓线，如重合剖面轮廓线。

子程序的各项参数意义与 LIOPO 子程序同。

* 10. 虚拟直线段子程序 FLIOPO(X,Y,J)

功能：该子程序生成的直线段作为虚拟的图形轮廓线，图 12-20 中 AB 为虚拟的直线段。调用该子程序后，当前点坐标移到目标点。

子程序的各项参数意义与 LIOPO 子程序同。

* 11. 作轮廓的点划线子程序 PLINK(X1,Y1,X2,Y2)

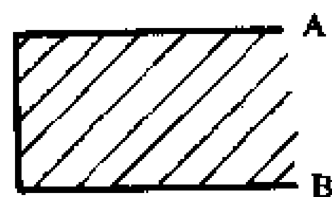


图 12-20　虚拟直线段



图 12-21　点划线

功能：生成一条点划线，长划长约 18mm，短划长约 1mm，间距 1mm，如图 12-21 所示。如整个线段长小于 10mm，则画一细实线。目标点处是长划，长划长度、短划长度及间距与比例无关，进入该子程序时自动取画细线标记，退出时恢复原来线的粗细。

X1,Y1：线段起点的绝对坐标；

X2,Y2：线段终点的绝对坐标。

该子程序建立图形轮廓线档案，如用于半剖视图中的中心线。

* 12. 不作轮廓的点划线子程序 PLINEK(X1,Y1,X2,Y2)

功能：生成一条点划线，但不建立图形轮廓线档案。

其余说明与 PLINK 子程序同，

* 13. 虚线子程序 HLINEK(X1,Y1,X2,Y2)

功能：生成一条虚线，短划长 3mm，间距 1mm，如图 12-22 所示。若整个线段长小于 4mm，则画一条细实线。目标点处是短划，短划长度及间距与比例无关。进入该子程序时自动取画细线标志，退出时恢复原来粗细。

X1,Y1：线段起点的绝对坐标；

X2,Y2：线段终点的绝对坐标。



图 12-22　虚线

* 14. 双点划线子程序 PPLINK(X1,Y1,X2,Y2)

功能：生成一条双点划线，长划长约 15mm，短划长 1mm，间距 1mm，如图 12-23 所示。进入该子程序时自动取画细线标记，退出时恢复原来粗细。

X1,Y1：线段起点的绝对坐标；

X2,Y2：线段终点的绝对坐标。

* 15. 粗点划线子程序 TPLINK(X1,Y1,X2,Y2)

功能：生成一条粗点划线，如图 12-24 所示。进入该子程序自动取画粗线标记，退出时恢复

X1,Y1 X2,Y2

图 12-23 双点划线

原来粗细。

X1,Y1:线段起点的绝对坐标;

X2,Y2:线段终点的绝对坐标。

X1,Y1 X2,Y2

图 12-24 粗点划线

* 16. 双折线子程序 SNAPLK(X1,Y1,X2,Y2)

功能:生成一条双折线,如图 12-25 所示。长划长 50mm(首尾长划 < 50mm),折线两端点间距离 4mm,中间折线长 7mm,如整个线段长 < 91mm,自动画波浪线。进入该子程序自动取画细线标记,退出时恢复原来粗细。

X1,Y1:线段起点的绝对坐标;

X2,Y2:线段终点的绝对坐标。

X1,Y1 X2,Y2

图 12-25 双折线

* 17. 两点式直线段子程序 LINEK(X1,Y1,X2,Y2)

功能:生成一条直线段,按调用该子程序前的最近 THICK 的值确定线型粗细,粗实线、中粗实线可作为图形轮廓线,由此子程序生成的细实线不作为图形轮廓线。

X1,Y1:线段起点的绝对坐标;

X2、Y2:线段终点的绝对坐标。

* 18. 点斜式直线段子程序 LINEL(X,Y,D,ANG)

功能:生成一根起点是 X,Y、长为 D,倾角为 ANG 的直线段。

X,Y:直线段起点的绝对坐标;

D:直线段长;

ANG:直线段方向与 X 轴正向的夹角,以度为单位,可正负。

其余说明与 LINEK 子程序同。

* 19. 圆或圆弧的子程序之一 CIRC1(X,Y,J,R,ANG,DANG)

功能:生成整个圆或圆弧,其线的粗细按最近的 THICK 值确定,如图 12-26 所示。该子程序生成的粗、中粗实线圆弧可作为图形轮廓线,细实线圆弧不作图形轮廓线。

X,Y:圆心坐标。

J:特征状态。

J = 0 圆心为绝对坐标,从当前点位移至圆弧的起始点,然后生成圆弧或圆;

J = 1 圆心为绝对坐标,从当前点生成直线至圆弧的起始点,然后生成圆弧或圆;

J = 2　圆心为相对坐标，从当前点位移至圆弧的起始点，然后生成圆弧或圆；

J = 3　圆心为相对坐标，从当前点生成直线至圆弧的起始点，然后生成圆弧或圆。

R：圆弧半径。

ANG：圆弧的起始角，取自圆心与圆弧起点连线与 X 轴正向的夹角，有正负，如图 12-27 所示。

DANG：所要生成的圆弧的圆心角，逆时针方向取正值，顺时针方向取负值。

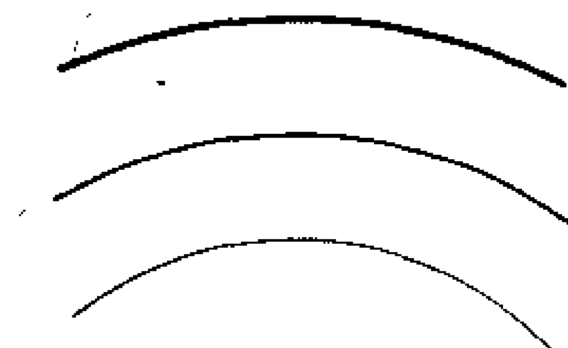


图 12-26　不同粗细的圆弧

图 12-27　圆弧要素

圆弧子程序调用举例。

(1) 编写绘制图 12-28 的程序语句

```
……
CALL LIOPO(150.,150.,0)
CALL CIRC1(300.,150.,1,30.,180.,-180.)
……
```

(2) 编写绘制图 12-29 的程序语句

图 12-29 是在图 12-28 的基础上加了两个圆弧。

```
……
CALL LIOPO(150.,150.,0)
CALL CIRC1(300.,150.,1,30.,180.,-270.)
CALL CIRC1(150.,135.,1,15.,-90.,-180.)
CALL CIRC1(300.,150.,0,15.,0.,360.)
……
```

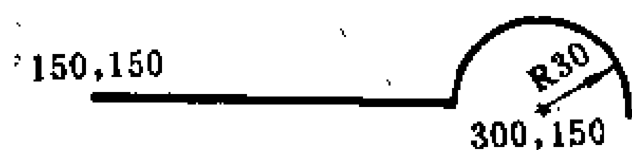


图 12-28　调用圆弧子程序

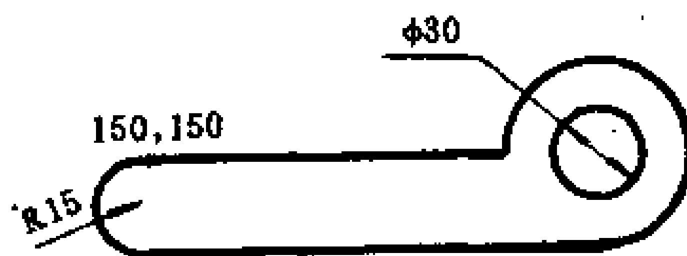


图 12-29　调用圆弧子程序

*20. 细实线圆或圆弧子程序 CIRC1S(X,Y,J,R,ANG,DANG)

功能：生成一个细实线圆或圆弧，该子程序生成的圆或圆弧作为图形轮廓线，为重合剖面轮廓所用。进入该子程序时自动置画细线标记，退出时恢复原来粗细。

子程序的各项参数意义与 CIRC1 同。

*21. 虚拟圆或圆弧子程序 FCIRC1(X,Y,J,R,ANG,OANG)

功能：该子程序生成的圆或圆弧段作为虚拟的图形轮廓线。如图 12-30 中包围剖面线的最外的轮廓线。调用该子程序后，当前点坐标移至圆弧的终止点。

子程序的各项参数意义与 CIRC1 同。

*22. 虚线圆或圆弧子程序 HCIRC(X,Y,J,R,ANG,DANG)

功能：生成一个虚线圆或虚线圆弧，如图 12-31 所示，短线长约 3mm，间距 1mm。若整个圆弧长小于 4mm，则画一个细实线圆弧，目标点处是短划。短划长度、间距长度与比例无关。进入该子程序自动置画细线标记，退出时恢复原来粗细。

子程序的各项参数意义与 CIRC1 同。

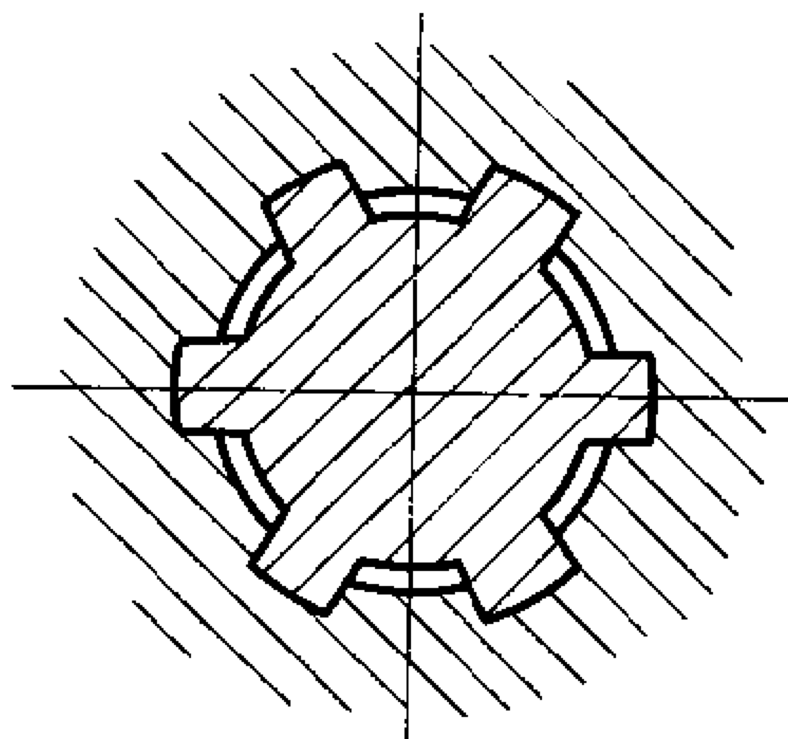


图 12-30　虚拟圆弧

*23. 点划线圆或圆弧子程序 PCIRC(X,Y,J,R,ANG,DANG)

功能：生成一个点划线圆或圆弧，如图 12-32 所示，点划线长度规格与 PLINK 子程序中直线点划线同，终点处是长划。进入该子程序时，自动置画细线标记，退出时恢复原来粗细。

子程序的各项参数意义与 CIRC1 同。

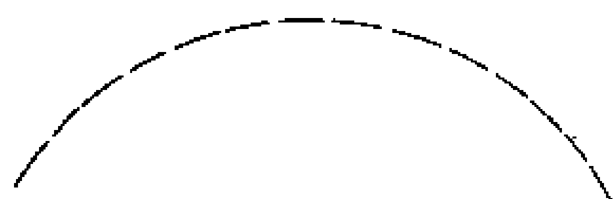


图 12-31　虚线圆弧

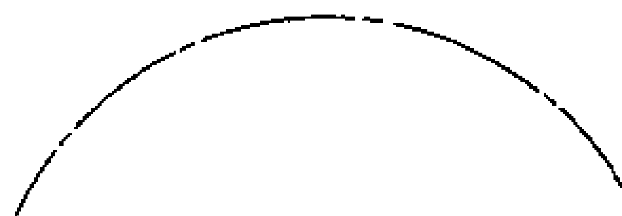


图 12-32　点划线圆弧

*24. 双点划线圆或圆弧子程序 PPCIRC(X,Y,J,R,ANG,DANG)

功能：生成一个双点划线圆或圆弧，如图 12-33 所示，双点划线长度规格与 PPLINK 子程序中直线双点划线同，终点处是长划。进入该子程序时自动置画细线标记，退出时恢复原来粗细。

子程序的各项参数意义与 CIRC1 同。

*25. 粗点划线圆或圆弧子程序 TPCIRC(X,Y,J,R,ANG,DANG)

功能：生成一个粗点划线圆或圆弧，如图 12-34 所示，终点处是长划。进入该子程序时自动置画粗线标记，退出时恢复原来粗细。

子程序的各项参数意义与 CIRC1 同。

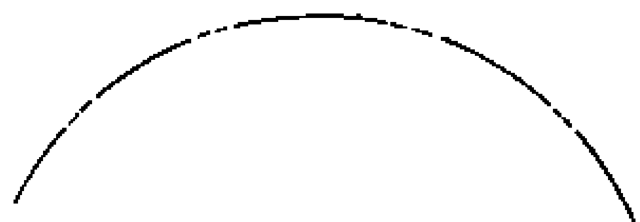


图 12-33　双点划线圆弧

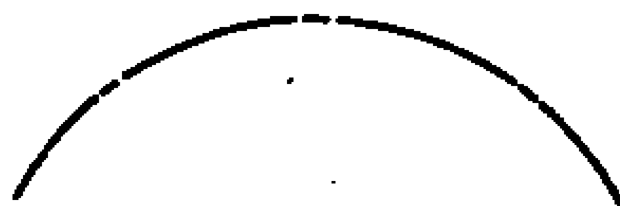


图 12-34　粗点划线圆弧

*26. 圆或圆弧的子程序之二 CIRC2(XA,YA,XB,YB,R,K)

功能：生成圆弧(如生成 360° 圆弧，规定圆心在起点位置的水平方向左侧)，其线的粗细按最近的 THICK 值确定，由该子程序生成的粗、中粗实线圆弧可作为图形轮廓线，细实线圆弧不作为图形轮廓线。

XA,YA:圆弧的起点坐标(绝对)。

XB,YB:圆弧的终点坐标(绝对)。

R:圆弧的方向半径,逆时针方向生成圆为正值,顺时针方向为负值。

K:优/劣弧标记,K > 0 为优弧,K ≤ 0 为劣弧。

*27. 波浪线子程序 WLINE(X,Y,N)

功能:生成一根通过若干个已知点的波浪线,如图12-35所示,图中波浪线通过1、2、3、4、5点。进入该子程序时自动置画细线标记,退出时恢复原来粗细。波浪线作为图形轮廓线。

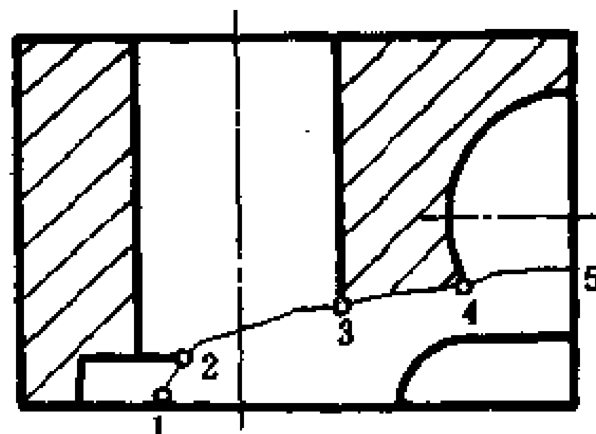


图 12-35　波浪线

N:波浪线通过的点数,至少为2。

X(N),Y(N):按序存放波浪线通过的各点的坐标值。

波浪线子程序调用举例:

```
…
DIMENSION X(5),Y(5)
…
X(1) = A1 ⎫
Y(1) = B1 ⎪
…         ⎬A1,B1,…,A5,B5 可以是数值、变量或表达式
X(5) = A5 ⎪
Y(5) = B5 ⎭
CALL WLINE(X,Y,5)
…
```

28. 换笔子程序 NEWPEN(N)

功能:笔架将当前笔放入前一次取笔的槽口中,再从笔槽中取出放在第N个槽口内的笔,该子程序只在绘图时有效。

N:放笔的槽口序号。

29. 归零子程序 HOME

功能:笔位移到系统坐标原点(绘图仪/机的左下角点位置),该子程序只在绘图时有效。

12.5.2　轮廓识别与剖面线处理子程序

1. 区域标识点子程序 POINT(X1,Y1,X2,Y2,X3,Y3,X4,Y4,X5,Y5,X6,Y6,X7,Y7,N)

功能:将各个剖面线区域内的标识点的坐标输入计算机。

(X1,Y1),(X2,Y2),…,(X7,Y7):各个剖面区域内标识点的绝对坐标。

N:标识点的数目,如N = 7,则上述7个点的坐标均有效,如N = 3,则前三个点的坐标有效,这时自X4至Y7填任意数均可。

如剖面区域超过7块,则将POINT子程序连续调用两次或多次(程序设置剖面区域最多是20块)。

2. 识别剖面线轮廓与画剖面线子程序 OUTLI1(D,ALPH,N)

功能:根据标识点的坐标识别剖面线轮廓,再调用画剖面线子程序绘制剖面线。

D:剖面线间距(与图形比例无关)。

ALPH:剖面线与X轴正向的夹角,以度为单位,可正、负。

N = 1　按 ALPH 画一个方向剖面线；

N = 2　按 ALPH 画一个方向剖面线后，再画一个与之垂直的剖面线方向。

3. 生成不同形式剖面线的方法

在装配图、复合零件图或某些剖视的表示上，要求在一个图上画不同的剖面线，如图 12-36 所示，为此可编写以下语句满足要求。

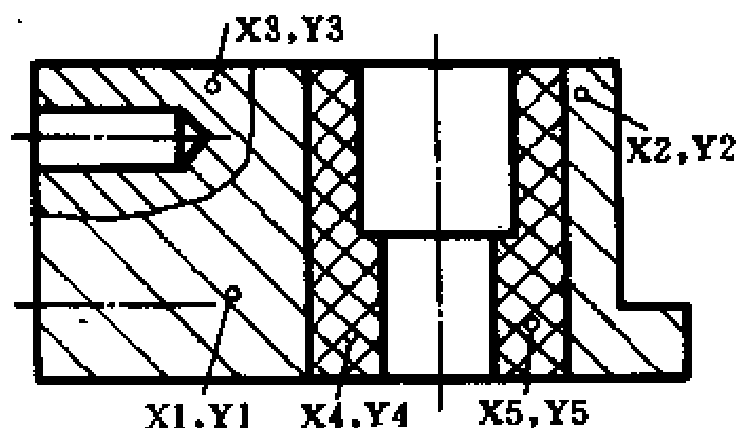


图 12-36　生成不同形式剖面线

```
......
CALL POINT(X1,Y1,X2,Y2,3.,3.,4.,4.,5.,5.,6.,6.,7.,7.,2)
CALL OUTLH(3.,135.,1)
CALL POINT(X3,Y3,2.,2.,3.,3.,4.,4.,5.,5.,6.,6.,7.,7.,1)
CALL OUTLH(2.,135.,1)
CALL POINT(X4,Y4,X5,Y5,3.,3.,4.,4.,5.,5.,6.,6.,7.,7.,2)
CALL OUTLH(3.,45.,2)
......
```

对上例，系统内部自动设置三个层，记录剖面线的有关信息，最多可有 10 个层。

12.6　二维图形的设计方法

在理解前面 12.5 节图形部分子程序的基础上，就可用编写程序的方法设计二维图形，包括对零件图和装配图的图形设计方法。

12.6.1　二维图形的形状特点

1. 形状可分的特点

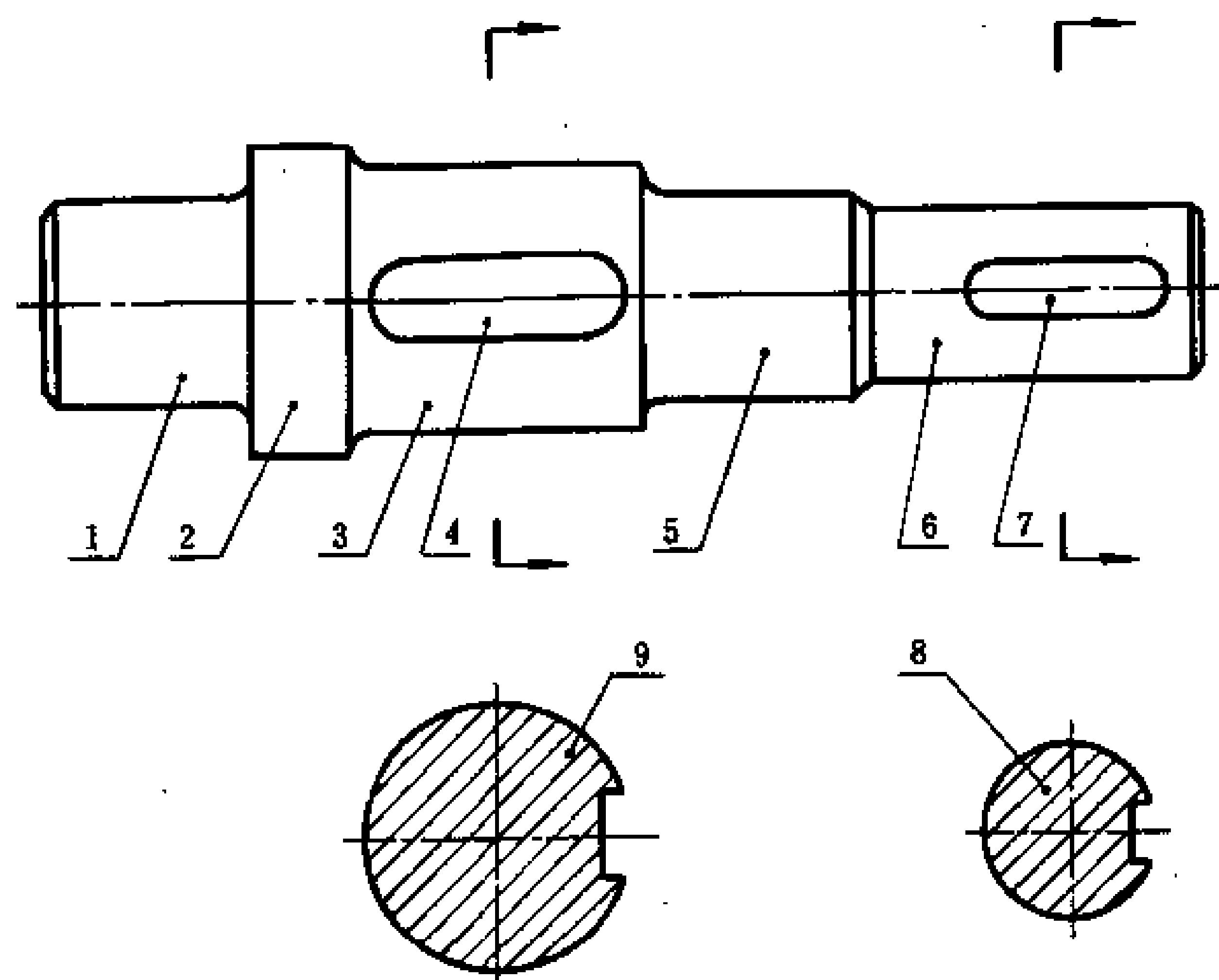


图 12-37　传动轴视图分析

很多复杂机械图样的图形，常常可以分为若干个简单的基本图形，如图 12-37 是一根普通的传动轴，其视图与移出剖面可以看成由九部分组成。

图 12-37 中 1、3、5、6 表示轴段的图形，轴段倒角若为零则没有倒角，轴段开口方向可以朝左或朝右，如图 12-38 所示。

图 12-37 中 2 表示矩形图形，如图 12-39 所示。



图 12-38　轴段



图 12-39　矩形

图 12-37 中 4、7 表示键槽的长圆形图形，如图 12-40 所示。

图 12-37 中 8、9 表示轴上键槽的移出剖面图形，如图 12-41 所示。

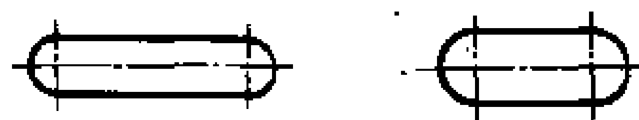


图 12-40　键槽(长圆形)

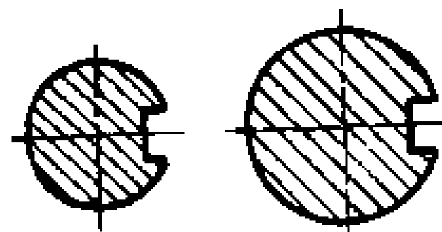


图 12-41　键槽移出剖面

图 12-37 中剖切平面的迹线及其箭头方向属于标注程序设计内容，在此不单独列出。

2. 形状通用的特点

图 12-38～图 12-41 提到的四类图形在轴类零件中是经常出现的，其他图形，如均布孔(图 12-42)，多个同心圆(图 12-43)，孔与轴的倒角(图 12-44)，以及零件的标准结构在图上的表示，如退刀槽(图 12-45)，台阶孔(图 12-46)，螺纹孔(图 12-47)，中心孔(图 12-48) 等，在图上是屡见不鲜的，具有很大的通用性的特点。

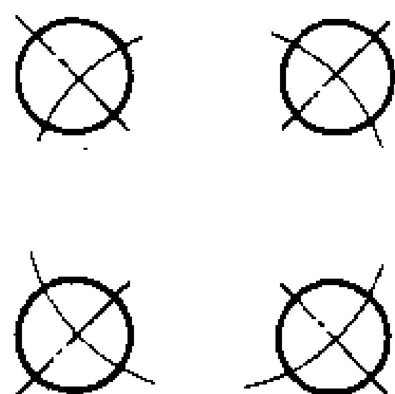
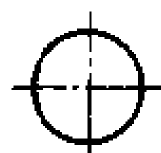
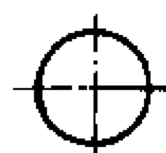
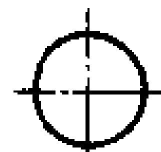
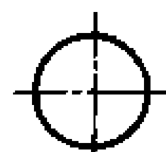






图 12-42　均布孔

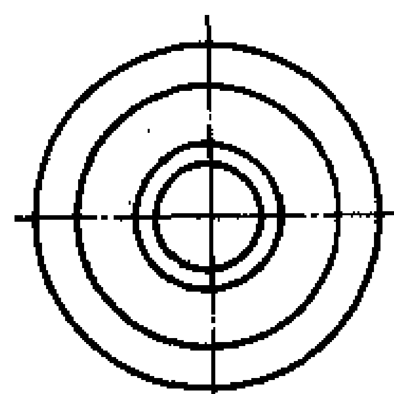


图 12-43　同心圆

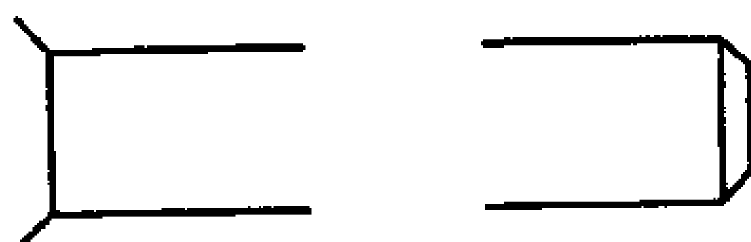


图 12-44　孔与轴上的倒角

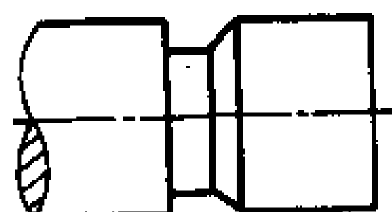


图 12-45　退刀槽

利用形状通用性的特点，可以尽量简化程序、方便图形生成。上述通用性的图形与标准结构图形是机械图样的一部分，称之为基本图形。

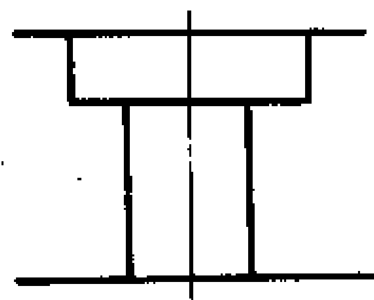


图 12-46　台阶孔

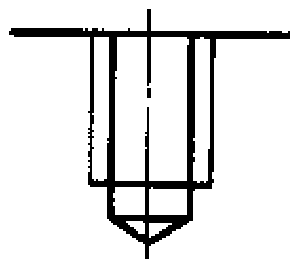


图 12-47　螺纹孔

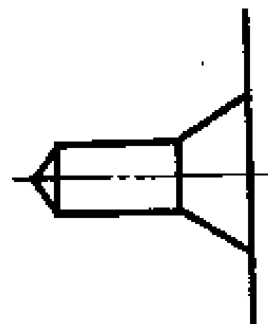


图 12-48　中心孔

3. 零件、部件的标准化、系列化的特点

装配图中的一些标准件及常用件，如螺栓、螺母、垫圈、滚动轴承、键、销、弹簧、齿轮、皮带轮等具有固定的式样和形状。一些典型的通用部件，如电动机、联轴器、油杯、减速器等也都实行标准化、系列化，其外形特征和尺寸大小均有一定的规定。

上述几部分图形之间，以及与基本图形元素之间的关系如图 12-49 所示。

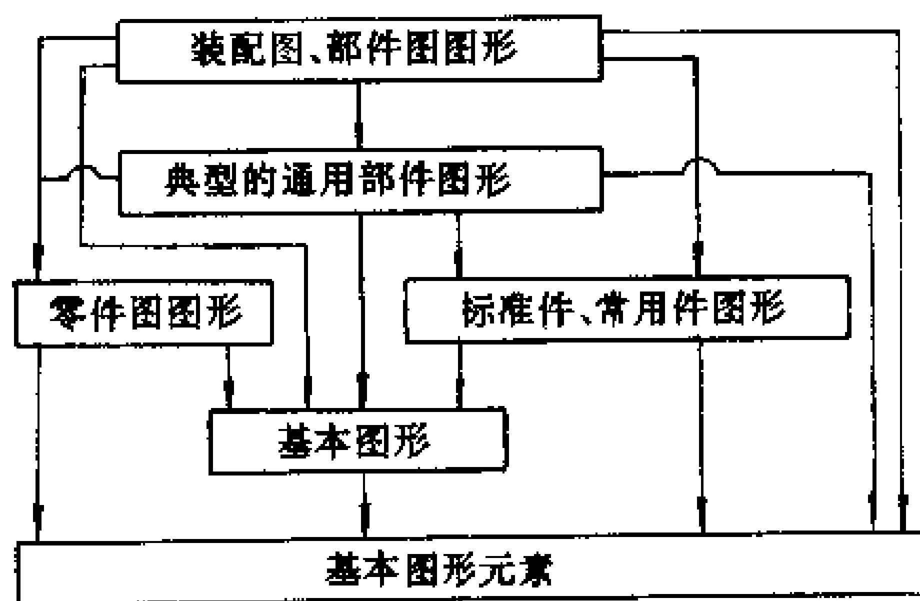


图 12-49　各种图形之间与基本图形元素之间的关系

12.6.2　基本图形程序设计

基本图形的内容如图 12-38 ～ 图 12-48 所示，可以从复杂的机械图形中分离出来，有较大的通用性。利用基本图形可以简化零件图的图形程序和标准件、常用件的图形程序。

1. 基本图形程序设计参数说明

基本图形参数一般可分为三类。

(1) 位置参数：确定基本图形位于零件图上的定位点坐标值，如图 12-50 中的 X、Y 值。

(2) 转角或朝向参数：如果该基本图形不考虑自身的转角或朝向，则不考虑这项参数。但有的基本图形要考虑转角，有的基本图形要考虑朝向，如图 12-51、图 12-52、图 12-55 中 J 即是。

(3) 形状参数：每一个基本图形的形状由形状参数确定，如图 12-52 中的 C、D、S、R 为轴段的形状参数。一般说来，形状愈复杂，则形状参数数目也愈多。为了使基本图形的形状更灵活些，某些参数可以是零或负值。

另外，如果要改变基本图形的结构，还可以增加必要的控制参数。

2. 基本图形程序设计

基本图形程序设计主要调用 12.5 节中基本图形元素子程序，但也可以调用已经有的基本图形程序。另外，约定调用基本图形程序时已置画粗线标记。下面以程序编写的例子说明。

(1) 键槽(长圆形) 子程序设计

子程序参数如图 12-50 所示，X，Y 为定位点坐标。

```
SUBROUTINE KEYWAY(X,Y,A,B)
```

```
R = B * 0.5
X1 = X - A * 0.5 + R
X2 = X + A * 0.5 - R
YY = Y - R
CALL LIOPO(X1,YY,0)                    笔位移到 1 点
CALL CIRCI(X2,Y,1,R,270.,180.)         画12和23
CALL CIRCI(X1,Y,1,R,90.,180.)          画34和41
Y1 = Y - R - 3.
Y2 = Y + R + 3.
CALL PLINEK(X1,Y1,X1,Y2) 画左边的垂直点划线
CALL PLINEK(X2,Y1,X2,Y2) 画右边的垂直点划线
END
```

(2) 矩形子程序设计

子程序参数如图 12-51 所示，如 J = 0，则定位点是 0 点；J = 1，则定位点是 1 点 …… 子程序中哑元 X，Y 是定位点坐标。

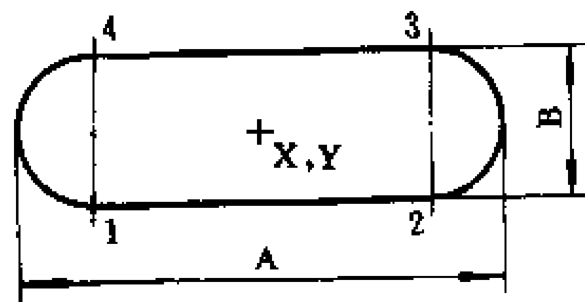


图 12-50　键槽

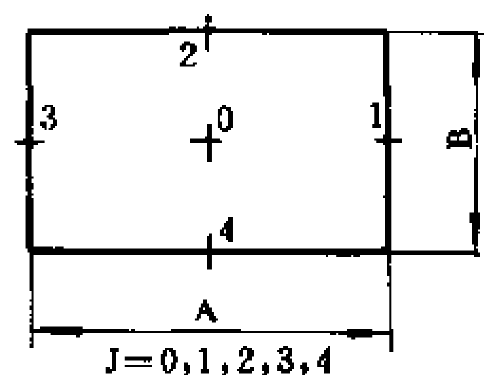


图 12-51　矩形

```
SUBROUTINE RECTAN(X,Y,J,A,B)
AA = 0.5
IF(J.EQ.1.OR.J.EQ.3)   AA = FLOAT(1/J)
BB = 0.5                                    将笔移到矩形左下角点的准备
IF(J.EQ.2.OR.J.EQ.4)   BB = FLOAT(2/J)
X1 = X - A * AA
Y1 = Y - B * BB
CALL LIOPO(X1,Y1,0)                笔移到矩形的左下角点
CALL LIOPO(A,0.,3)                 画下边的水平线
CALL LIOPO(0.,B,3)                 画右边的垂直线
CALL LIOPO(- A,0.,3)               画上边的水平线
CALL LIOPO(X1,Y1,1)                画左边的垂直线
END
```

(3) 轴段子程序设计

子程序参数如图 12-52 所示，如 J = 1 开口朝左，J = - 1 开口朝右；如 C = 0 无倒角；如 R = 0 无圆角。

```
SUBROUTINE SEGS(X,Y,J,C,D,S,R)
```

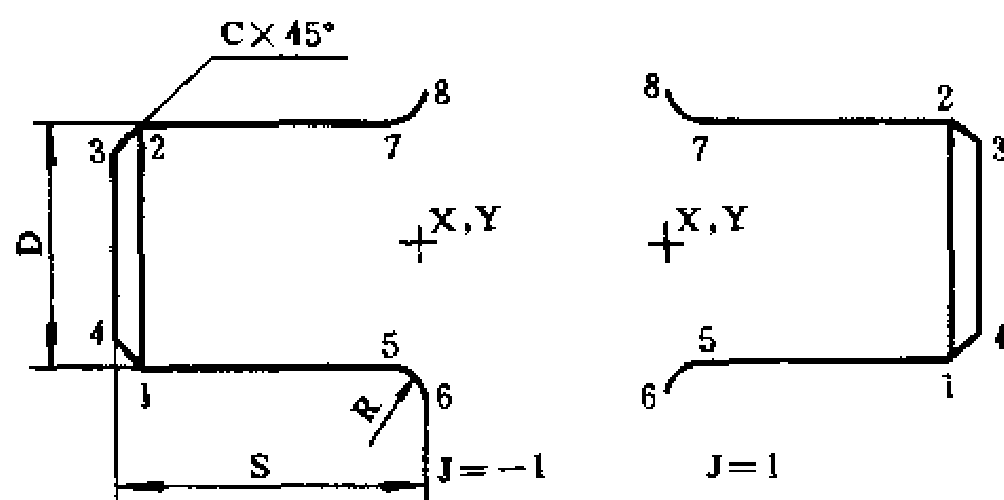


图 12-52　轴段

```
A = FLOAT(J)
X1 = X + (S - C) * A
Y1 = Y - D * 0.5
CALL LIOPO(X1,Y1,0)                      抬笔到 1 点
CALL LIOPO(0. ,D,3)                      画12
XX = A * ABS(C)
CALL LIOPO(XX, - C,3)                    画23
DC = - (D - C * 2.0)
CALL LIOPO(0. ,DC,3)                     画34
CALL LIOPO(X1,Y1,1)                      画41
XC = X + R * A
YC = Y - D * 0.5 - R
DANG = 90. * A
CALL CIRC1(XC,YC,1,R,90. ,DANG)          画15 和56
Y1 = Y1 + D
CALL LIOPO(X1,Y1,0)                      抬笔到 2 点
YC = Y + D * 0.5 + R
DANG = - DANG
CALL CIRC1(XC,YC,1,R,270. ,DANG)         画27 和78
END
```

如果 C < 0,R = 0,则绘出图 12-53 所示圆孔和倒角的图形。

(4) 十字中心线子程序设计

子程序参数如图 12-54 所示,A,B 长为图形轮廓线范围,中心线伸出范围每侧为 3mm。

```
SUBROUTINE CROSS(X,Y,A,B)
X1 = X - A * 0.5 - 3.
X2 = X1 + A + 6.
CALL PLINEK(X1,Y,X2,Y)
Y1 = Y - B * 0.5 - 3.
Y2 = Y1 + B + 6.
CALL PLINEK(X,Y1,X,Y2)
END
```

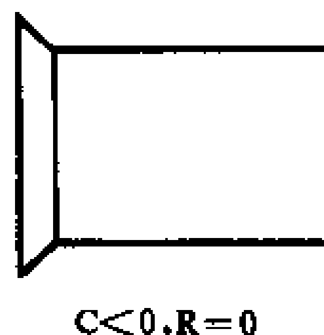


图 12-53　圆孔和倒角

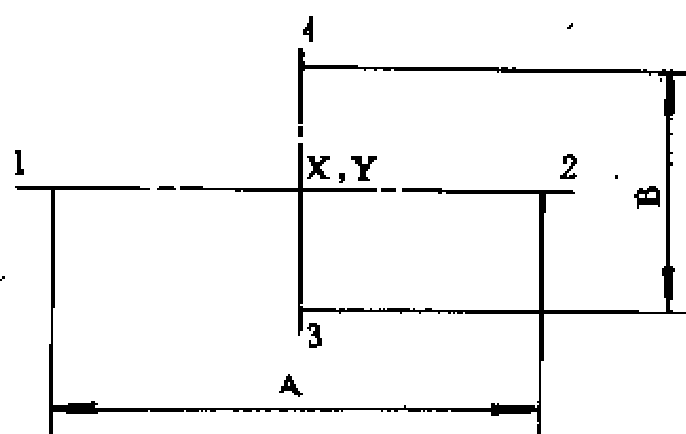


图 12-54　十字中心线

(5) 键槽移出剖面子程序设计

子程序参数如图 12-55 所示，如 J = 1，槽口向右；J = − 1，槽口向左。

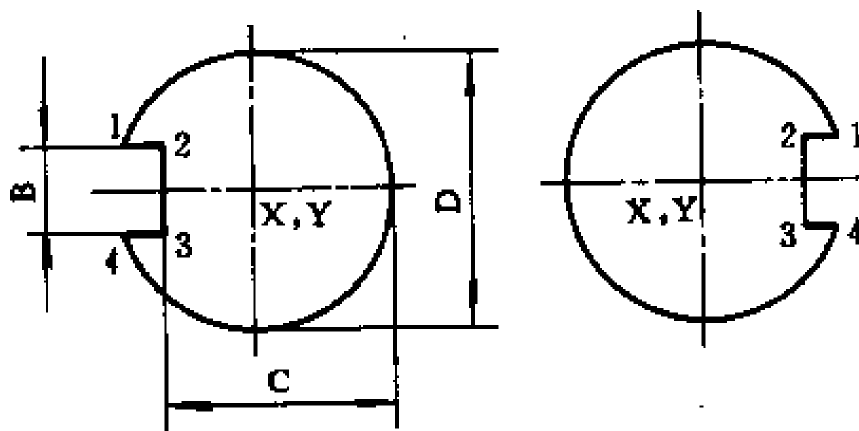


图 12-55　键槽移出剖面轮廓线

```
SUBROUTINE SECT(X,Y,D,B,C,J)
CALL CROSS(X,Y,D,D)
R = D * 0.5
HB = B * 0.5
DX = SQRT(R * R - HB * HB) * FLOAT(J)
X1 = X + DX                        求 1 点的 X 坐标
Y1 = Y + HB                        求 1 点的 Y 坐标
X2 = X + (C - R) * FLOAT(J)        求 2、3 点的 X 坐标
Y4 = Y - HB                        求 3、4 点的 Y 坐标
CALL LIOPO(X1,Y1,0)                抬笔至 1 点
CALL LIOPO(X2,Y1,1)                画线至 2 点
CALL LIOPO(X2,Y4,1)                画线至 3 点
CALL LIOPO(X1,Y4,1)                画线至 4 点
RR = R * FLOAT(J)                  求圆弧的方向半径
CALL CIRC2(X1,Y1,X1,Y4,RR,1)       画 1 至 4 的优弧
END
```

这个子程序中只画出剖面轮廓线，如果要在剖面区域内画剖面线，则必须调用本章前面提到的有关画剖面线的子程序。

上面仅列出少数几个子程序，它们应该根据产品图样的需要自行设计编写，一些最常用的基本图形可以收集在一个图形库里，以备需要时调用。

12.6.3　零件视图的程序设计

1. 利用基本图形生成零件视图

利用基本图形生成零件视图是方便而可靠的方法。图 12-56 是在图 12-37 基础上以变量形式决定该图形需要的尺寸大小。根据前面提到的几个基本图形程序，很容易编写图 12-56 的零件视图的程序。

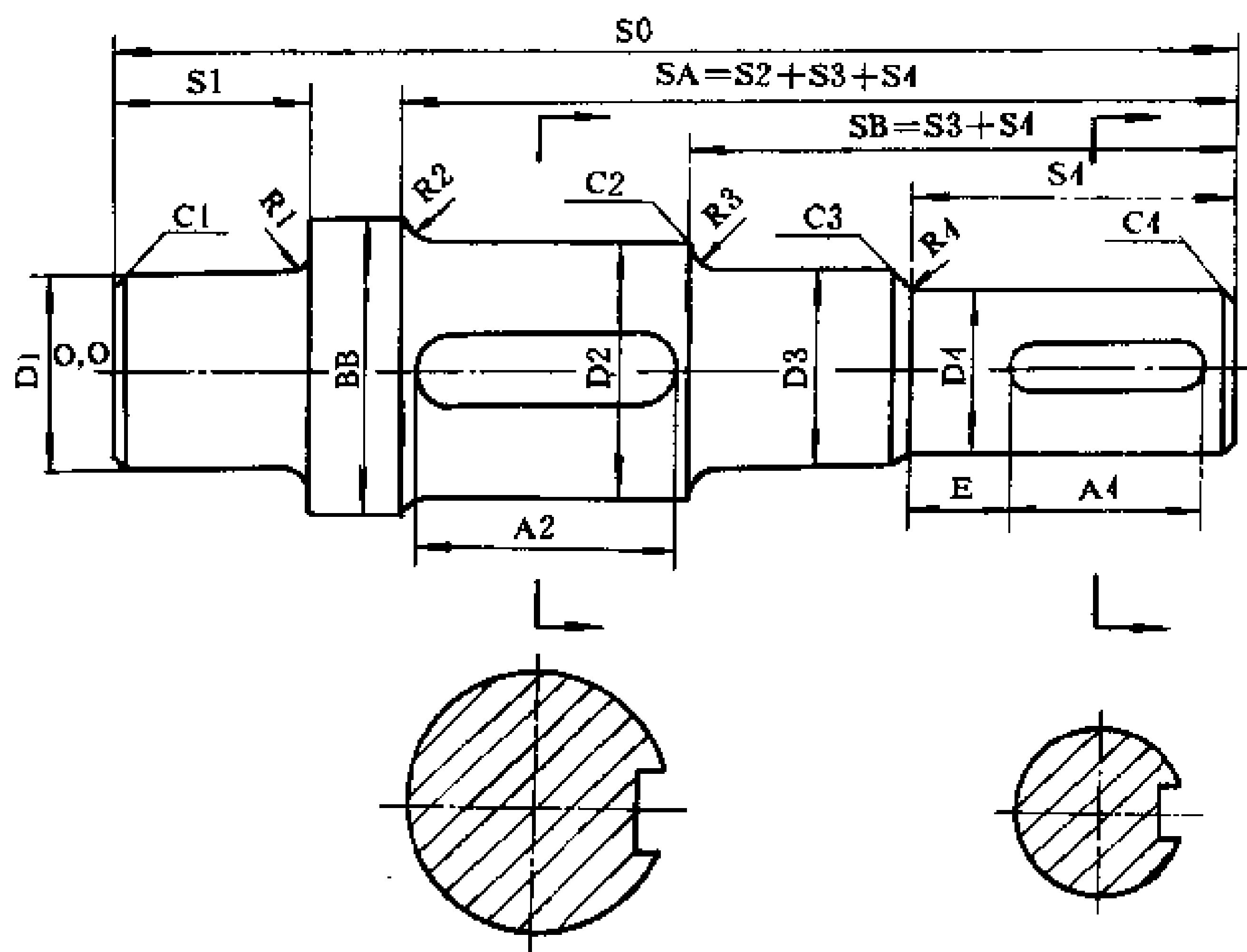


图 12-56　轴的视图

在图 12-56 中，有的变量没有标出，但可根据已有变量作简单运算获得，如矩形的 X 方向长为 S0 − S1 − SA；第二个轴段的 X 方向长为 SA − SB；第三个轴段的 X 方向长为 SB − S4；键槽宽度和反映深度的大小可按照轴径查表(见表 12-1)，图 12-56 轴的程序中部分语句反映了求这些尺寸值的过程。

表 12-1　轴的直径 D 与键槽宽 B、深 C 的关系(参看图 12-55)

D	自 6-8	> 8 ~ 10	> 10 ~ 12	> 12 ~ 17	> 17 ~ 22	> 22 ~ 30	> 30 ~ 38	> 38 ~ 44	> 44 ~ 50
B	2	3	4	5	6	8	10	12	14
C	D − 1.2	D − 1.8	D − 2.5	D − 3	D − 3.5	D − 4	D − 5	D − 5	D − 5.5
D	> 50 ~ 58	> 58 ~ 65	> 65 ~ 75	> 75 ~ 85	> 85 ~ 95	> 95 ~ 110	> 110 ~ 130	> 130 ~ 150	> 150 ~ 170
B	16	18	20	22	25	28	32	36	40
C	D − 6	D − 7	D − 7.5	D − 9	D − 9	D − 10	D − 11	D − 12	D − 13
D	> 170 ~ 200	> 200 ~ 230	> 230 ~ 260	> 260 ~ 290	> 290 ~ 330	> 330 ~ 380	> 380 ~ 410	> 410 ~ 500	
B	45	50	56	63	70	80	90	100	
C	D − 15	D − 17	D − 20	D − 20	D − 22	D − 25	D − 28	D − 31	

轴的图形程序中还调用移出剖面迹线的子程序：CALL SIGN01(XS、YS、2、'⌊NN&')，参数 XS、YS 是数组，存放剖面迹线的端点坐标；2 表示两个端点；引号内的⌊ 表示剖面迹线两端带箭头、端点顺序前进方向左侧为箭头指向，NN 表示剖面迹线旁不加标注，& 为结束符。

图 12-56 轴的图形程序如下：

```
C     The shaft main program
      DIMENSION XS(2),YS(2),B(26),C(26),D(27)
      CHARACTER NAME * 10
      DATA B/2. ,3. ,4. ,5. ,6. ,8. ,10. ,12. ,14. ,16. ,18. ,20. ,22. ,25. ,28. ,
     *  32. ,36. ,40. ,45. ,50. ,56. ,63. ,70. ,80. ,90. ,100. /
      DATA C/1.2,1.8,2.5,3. ,3.5. ,4. ,5. ,5. ,5.5,6. ,7. ,7.5,9. ,
     *  9. ,10. ,11. ,12. ,13. ,15. ,17. ,20. ,20. ,22. ,25. ,28. ,31. /
      DATA D/6. ,8. ,10. ,12. ,17. ,22. ,30. ,38. ,44. ,50. ,58. ,65. ,75. ,85. ,
     *  95. ,110. ,130. ,150. ,170. ,200. ,230. ,260. ,290. ,330. ,380. ,440. ,500. /
      WRITE( * , * )'Input the name of date-file'   } 输入轴的数据文件名
      READ( * , * )NAME                             }
      OPEN(5,FILE = NAME)
      READ(5, * )D1,D2,D3,D4,BB,S0,S1,SA,SB,S4,A2,  } 轴的有关数据
     *  A4,E,C1,C2,C3,C4,R1,R2,R3,R4                }
      CALL BEGIN(1)                      初始化
      CALL ORIGIN(80. ,180. )            定义坐标原点，在轴的左端
      CALL SEGS(S1,0. , - 1,C1,D1,S1,R1) 生成从左至右的第一个轴段
      A = S0 - S1 - SA
      CALL RECTAN(S1,0. ,3,A,BB)         生成矩形
      S2 = SA - SB                       第二个轴段长
      X = S1 + A
      CALL SEGS(X,0. ,1,C2,D2,S2,R2)     生成第二个轴段
      X2 = X + (S2 - C2) * 0.5
      DO  1 I = 1,26                                                  } 按轴段直径 D2
      IF(D2 - D( I ).GE. 0. .AND. D( I + 1) - D2.GT. 0.0001)GO TO 5   } 取相应的键槽
1     CONTINUE                                                        } 宽度与深度
3     WRITE( * , * )'There is a mistake in shaft program' } 轴段直径过大、
      GO TO 99                                            } 过小的出错处理
5     CALL KEYWAY(X2,0. ,A2,B( I ))      生成第二个轴段上键槽
      XS(1) = X2                         }
      YS(1) = D2                         }
      XS(2) = X2                         } 生成第二个轴段
      YS(2) = - D2                       } 上移出剖面迹线
      CALL SIGN01(XS,YS,2,'LNN&')        }
      Y2 = - D2 * 2.
      CB = D2 - C( I )
      CALL SECT(X2,Y2,D2,B( I ),CB,1)    生成第二个轴段的移出剖面
      X = S0 - SB
      S3 = SB - S4
```

```
      CALL SEGS(X,0.,1,C3,D3,S3,R3)        生成第三个轴段
      X = X + S3
      CALL SEGS(X,0.,1,C4,D4,S4,R4)        生成第四个轴段
      X4 = X + E + A4 * 0.5
      DO  7J = 1,26
      IF(D4 - D(J).GE.0..AND.D(J + 1) - D4.GT.0.0001)GO TO9
 7    CONTINUE
      GO TO 3
 9    CALL KEYWAY(X4,0.,A4,B(J))          生成第四个轴段上键槽
      XS(1) = X4                          }
      XS(2) = X4                          }生成第四个轴段上的移出剖面迹线
      CALL SIGN01(XS,YS,2,'L NN&')        }
      CD = D4 - C(J)
      CALL SECT(X4,Y2,O4,B(J),CD,1)       生成第四个轴段的移出剖面
      XX = S0 + 3.                        }生成轴的水平中心线
      CALL PLINEK(- 3.,0.,XX,0.)          }
      CALL POINT(X2,Y2,X4,Y2,3.,3.,4.,4.,5.,5.,6.,6.,7.,7.,2)  }画剖面线
      CALL OUTLI1(2.,45.,1)                                     }
 99   END
```

该程序输出的图形只反映零件图的一部分，标注部分内容需调用 12.7 节的有关子程序。执行该程序前应先输入决定此轴尺寸的数据文件，不同数据文件可获得不同形状的轴。

2. 利用布尔运算生成零件视图

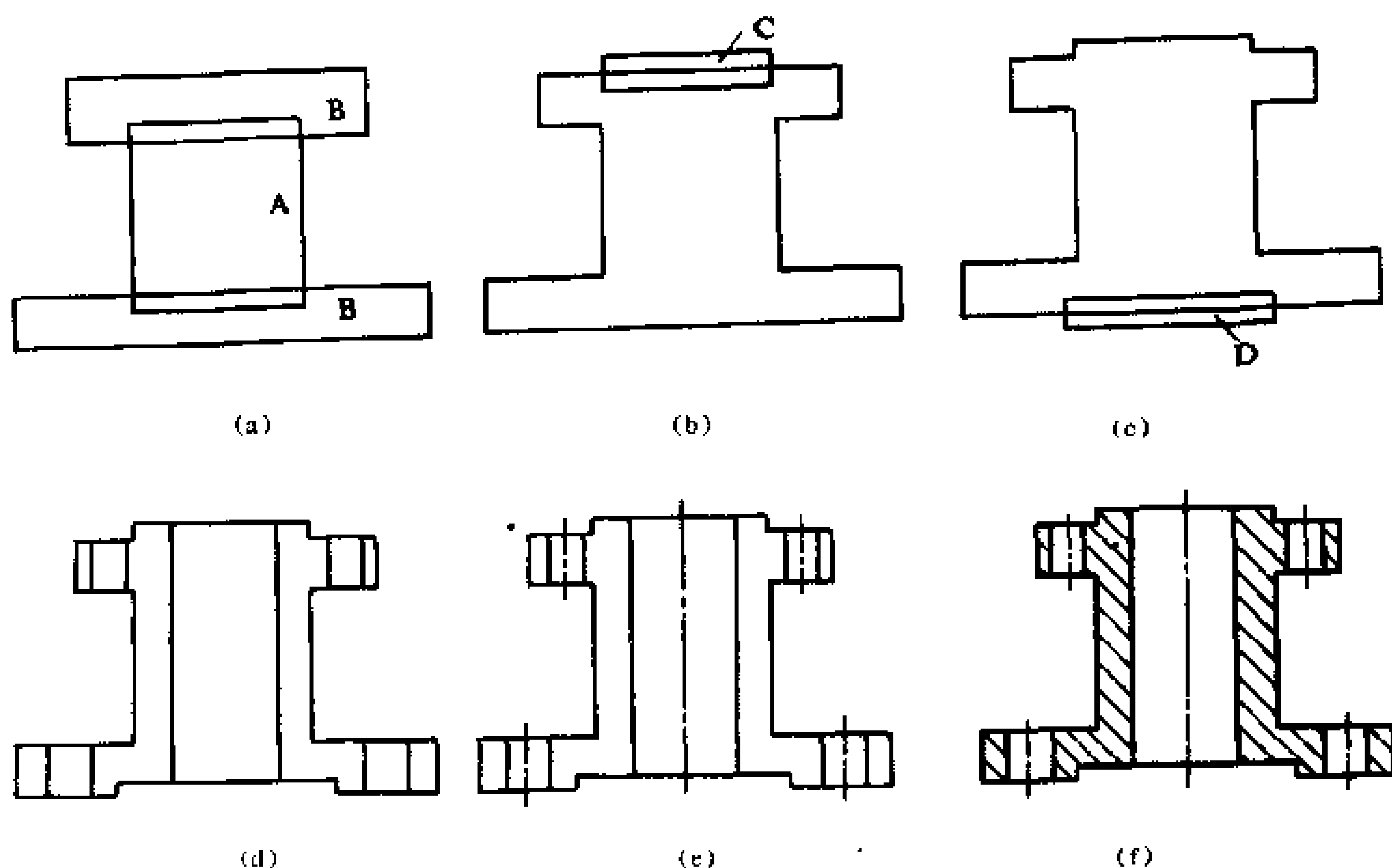


图 12-57　机座视图生成过程

利用平面图形布尔运算生成图形的技术，就是根据预先设计的简单图形经布尔运算后获得所需零件的形状，如图 12-57 表示机座一个视图的生成过程。图(a) 是图形 A 与图形 B 作并，

图(b)是在图(a)的基础上对图形C作并,图(c)是在图(b)的基础上差图形D,图(d)是在图(c)的基础上用循环覆盖大小不等的矩形,图(e)是在图(d)的基础上用循环加中心线,图(f)是在图(e)的基础上调用12.5.2节的有关子程序画上剖面线。

这里调用的基本图形都是矩形,根据产品图样需要,可以设计成各种简单的基本图形,进行布尔运算后获得所要求的图样。

3. 用综合方法生成零件视图

生成零件视图的方法常常不限于一种,12.5节中介绍的调用基本图形元素在绘制零件图样时是不可避免的,如图12-56中水平点划线的绘制。有的零件视图上,通用性的基本图形很少,或者也很难利用平面图形的布尔运算,这时就应以基本图形元素为主直接生成零件视图。通用性的基本图形与平面图形的布尔运算在生成图形时效率均较高,它们是不矛盾的,可以穿插进行。总之,应从零件视图形状特点出发,有效利用各种生成零件视图的方法。

12.6.4 由调用零件图子程序组装装配图

该方法就是将一些已经编好的零件图形子程序组装到装配图上的合适位置,因为在编写这些零件图图形子程序时,已经考虑到装配时某些零件图形上的圆或直线会发生消失和变化,为此,在零件图子程序中增加控制开关给予解决。

现以轴系装配图为例。如图12-58所示,轴上装有齿轮、轴套1、轴套2、轴承等零件。齿轮子程序的第一语句为

```
SUBROUTINE GEAR(X,Y,D,B,AM,KZ,C,KG)
```

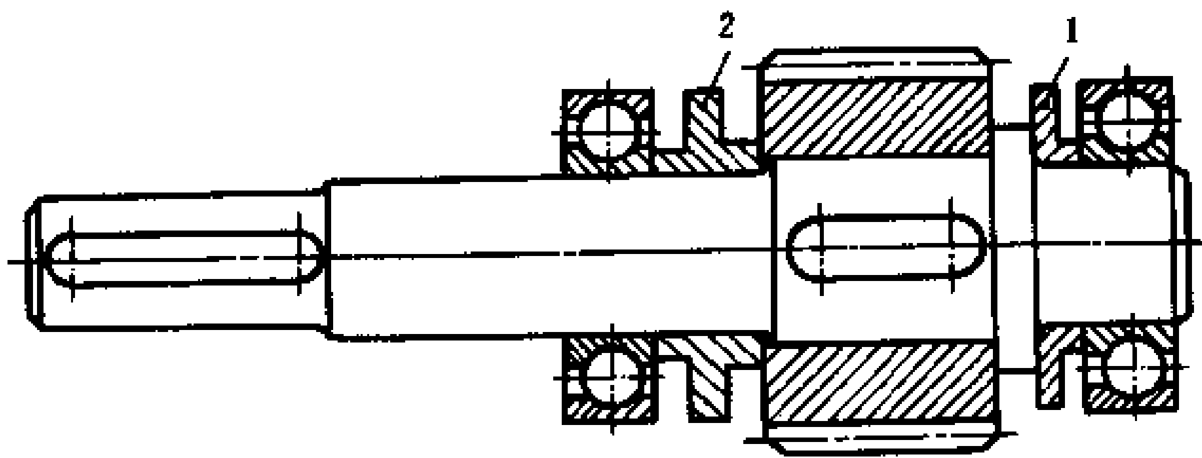


图12-58 轴系装配图

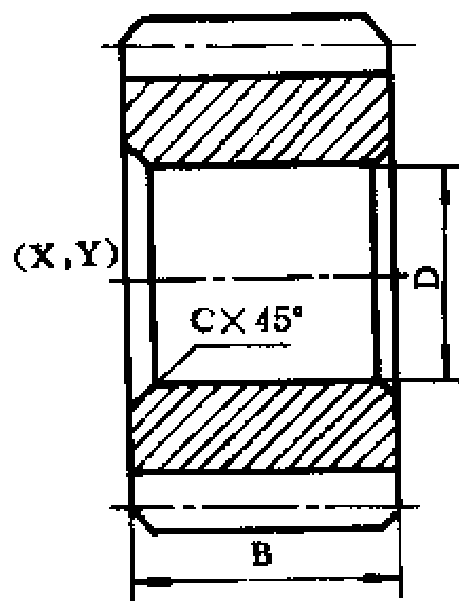


图12-59 齿轮(零件图上用)

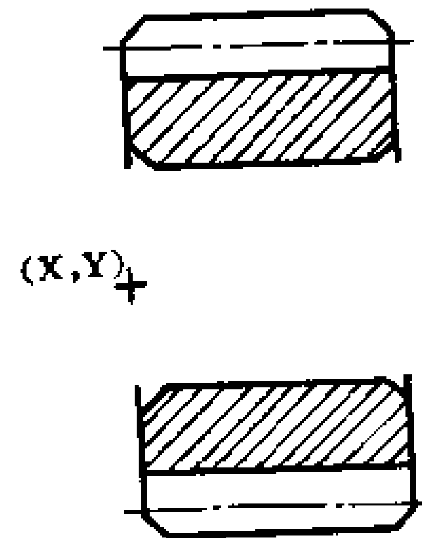


图12-60 齿轮(装配图上用)

其中,AM是模数,KZ是齿数,KG为控制开关,KG = 0,作零件图视图输出,KG = 1,为装配图需要图形,这两种图形的差别请比较图12-59与图12-60。其余各项参数参看图12-59。其他零

件也与此类似设置控制开关处理。装配图中剖面线可在画完图形之后统一绘制。

这种方法绘制的装配图由于人工干预较多，所以较可靠，但要设置控制开关，给零件图程序编写带来一定的麻烦。

12.7 标注部分子程序和图形档案的存取

12.7.1 标注子程序的内容、作用和标注信息的输入方法

1. 标注子程序的内容与作用

标注子程序主要是利用诸基本图形元素子程序编制而成，在一幅机械图样上除了图形信息之外就是标注信息，而且信息量多，信息形式复杂。本节根据国家标准规定的标注内容，编制了调用方便、输入信息直观的标注程序，包括尺寸标注、一般字符标注、粗糙度标注等内容，为生成实用化机械图样创造了必要的条件。

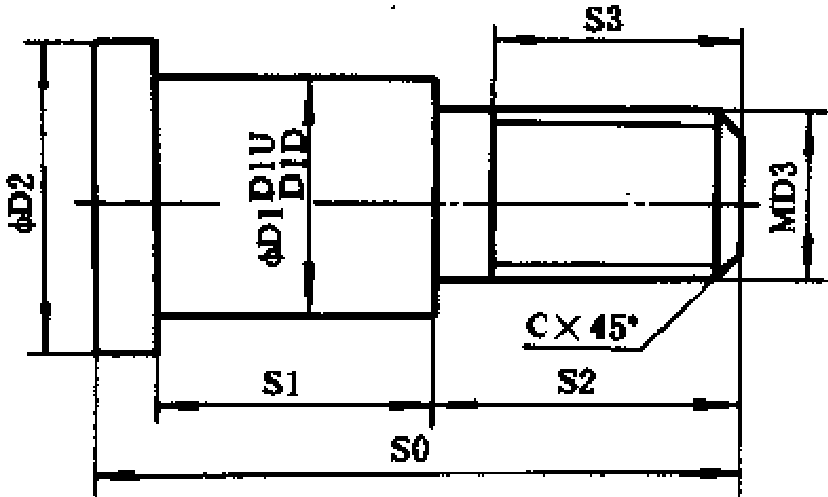


图 12-61 零件尺寸

2. 标注数值为变量的输入方法

多数标注内容中包含有数值，如尺寸标注中的长度值、角度值、偏差值等。但是在程序中不能经常将具体的值写上，如系列化产品的零件中，我们只知道某个零件的长度、直径、偏差值的变量表示，变量被赋的值由产品的型号不同而改变，如图 12-61 所示零件上有 10 个由变量表示的数值，由于型号不同，这些数值是不一样的，为此系统设计了变量赋值子程序 VARIAS，其调用方式如下：

```
CALL VARIAS(D1,D1U,D1D,D2,D3,S0,S1,S2,S3,C,10)
             |   |    |   |  |  |  |  |  |  |
             V1  V2   V3  V4 V5 V6 V7 V8 V9 V10
```

VARIAS 子程序中均为输入参数，现在最后一个数是 10，表示输入 10 个有效的参数，有效参数个数最大也是 10。如果只有 7 个参数，则在第 8、9、10 的位置填任意值均可，最后一项填 7。

调用 VARIAS 子程序后，相当于按序将各参数值赋给 V1、V2、V3、…，在标注程序中可以将 V1、V2、V3、… 与用数字表示的数值同样使用。

该子程序调用一次后，就应立即调用标注程序将 V1、V2、V3、… 等值标注完。然后再调用 VARIAS 子程序，赋以其他的变量值，再调用标注程序 …，直至标注完毕。

3. 汉字及符号信息输入方法

机械图样的标注信息中包含有汉字、英语（拼音）字母以及专用符号等。汉字可用国内通用的各种方法输入。英语（拼音）字母的大写、小写以及常用符号可在键盘上直接输入。专用符号则用预选字表的方法输入，系统已将专用符号排列到预选字表的文件中，按键＜CTRL＞＋F1，这时显示屏下部如图 12-62 所示，每一个专用符号都有小写英文字母与之对应，如需输入“⊥”则击 a 键；需输入“∠/”，击 r 键。当需要的符号在当前页中找不到，则可用“＜”或“＞”键进行换页选择。

12.7.2 尺寸标注子程序

一个完整的尺寸标注应包括四项内容：

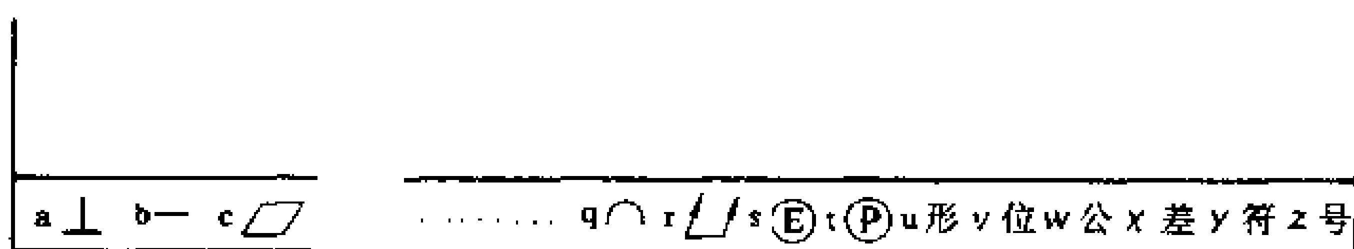


图 12-62 专用符号输入方法

(1) 尺寸界线：一般是两段直线；

(2) 尺寸线：有直线尺寸线与圆弧尺寸线之分；

(3) 尺寸箭头：有直线箭头与圆弧箭头之分；

(4) 尺寸文本：包含 a) 尺寸值，如直径值、半径值、长度值、角度值；b) 尺寸值前的内容，如 Φ、M、R、2－M、T、S、球 Φ 等；c) 尺寸值后的内容，如°、H7、j7、X1.5、上下偏差值、配合代号和工厂产品要求无规律性的附加说明。

尺寸标注子程序中的参数应对这四项内容有明确的表示。有时尺寸界线可省略，其余三项是一定有的。

以下尺寸标注子程序的排列序号前有“*”的表示该子程序标注的尺寸值可与图形尺寸不一致，以满足局部放大图和缩短画法中标注尺寸的要求。

以下尺寸标注子程序中表示尺寸值的参数如为零时，则自动退出该子程序，不生成任何图形和有关记录。

1. 无尺寸界线的尺寸标注子程序之一 ZDIM01(X,Y,ANG,BH)

功能：尺寸文本标在尺寸线上，可标注长度、直径(螺纹)、半径尺寸。

X、Y：尺寸线的定位点坐标，在长度、直径、半径尺寸的不同情况下，其定位点的意义不一样，见下面说明。

ANG：尺寸线的方向与 X 轴正向的夹角。

下面分别说明 X、Y、ANG 在长度、直径(螺纹)、半径尺寸标注中的意义。

(1) 长度尺寸(水平、垂直、一般方向均可)

X、Y 为 A 点坐标，ANG 为$\overrightarrow{AB}$与 X 轴正向的夹角(图 12-63a)，尺寸文本长小于 AB 时，则将尺寸文本写在尺寸线的居中位置；尺寸文本长大于 AB 时，则将尺寸文本自动放在 A 端一侧。

X、Y 为 B 点坐标时，ANG 为$\overrightarrow{BA}$与 X 轴正向的夹角(图 12-63b)，尺寸文本长小于 AB 时，则仍写在尺寸线居中位置；尺寸文本长大于 AB 时，则将尺寸文本自动放在 B 端一侧。



图 12-63 长度尺寸

(2) 直径或螺纹尺寸(水平、垂直、一般方向均可)

X、Y 为尺寸线的居中位置(O 点)，若 ANG 为$\overrightarrow{OA}$与 X 轴正向所夹的角，则当尺寸文本长大于 AB 时，将尺寸文本自动置于 A 端一侧，如图 12-64a 所示。

若 ANG 为$\overrightarrow{OB}$与 X 轴正向的夹角，则当尺寸文本长大于 AB 时，将尺寸文本自动置于 B 端一侧，如图 12-64b 所示。



图 12-64　直径或螺纹尺寸

如尺寸文本长小于 AB 时，则均将尺寸文本置于 AB 的居中位置。

(3) 半径尺寸(水平、垂直、一般方向均可，但使用时一般为后者)

X、Y 为圆心 O 点的坐标，ANG 为$\overrightarrow{OP}$与 X 轴正向的夹角，如图 12-65 所示。当尺寸文本长小于 OP 时，则将尺寸文本置于 OP 的居中位置，否则，将尺寸文本置于 P 点的外侧。

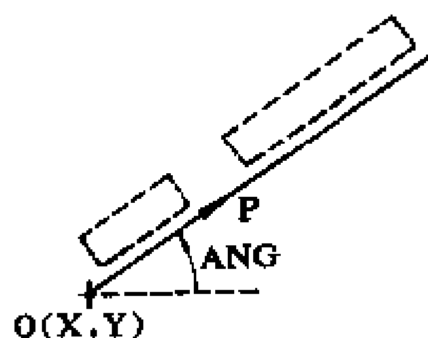


图 12-65　半径尺寸

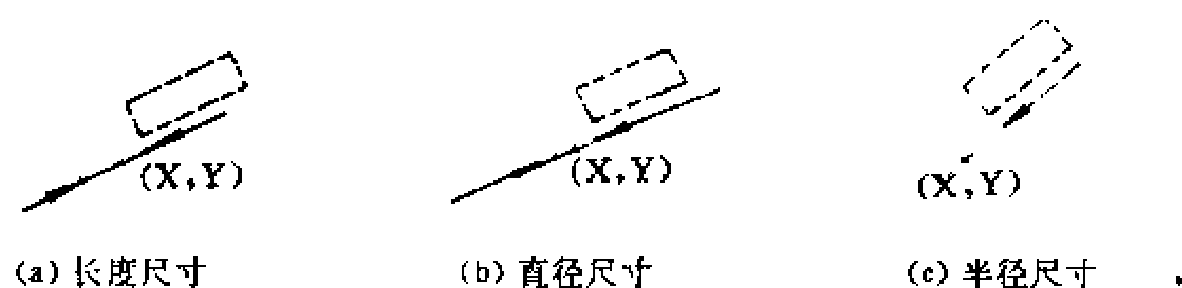
BH：所注尺寸文本的内容，BH＝'前缀　尺寸值　后缀&'，BH 最多可容纳 30 个 ASCⅡ 编码的字符、空格与结束符 & 包括其内，见表 12-2。

表 12-2　尺寸文本内容与格式规定

标注形式	BH 内是数值	BH 内是变量
50	BH＝'　50　&'	BH＝'　V1　&'
φ50	BH＝'∅　50　&'	BH＝'∅　V1　&'
$\phi50^{+0.02}_{-0.11}$	BH＝'∅　50　＋0.02 /－0.11&'	BH＝'∅　V1　V2/V3&'
2-M20H7	BH＝'2－M　20　H7&'	BH＝'V8－M V4　HV5&'
$\phi30\frac{H7}{j6}$	BH＝'∅　30　H7% j6&'	BH＝'∅　V6　H7%j6&'
φ30 与导叶配钻铰	BH＝'∅　30 与导叶 % 配钻铰 &'	BH＝'∅　V6 与导叶 % 配钻铰 &'

注：V1、V2… 等的值已在前面调用的 VARIAS 子程序中赋予了。

如果尺寸过于小时，则尺寸箭头自动改为指向内部，如图 12-66 所示。



(a) 长度尺寸　　(b) 直径尺寸　　(c) 半径尺寸

图 12-66　过小尺寸的箭头改变指向

* 2. 无尺寸界线的尺寸标注子程序之二 FDIM01(X,Y,ANG,BH,SCL)

功能：在局部放大图上标注 ZDIM01 子程序所标注的各种尺寸。

SCL：局部放大图比例。

其余参数与 ZDIM01 子程序同。

3. 无尺寸界线的尺寸标注子程序之三 ZDIM02(X,Y,ANG,CL,BH)

功能：尺寸文本标在尺寸线延长端的水平线上，可标注长度、直径(螺纹)、半径尺寸。

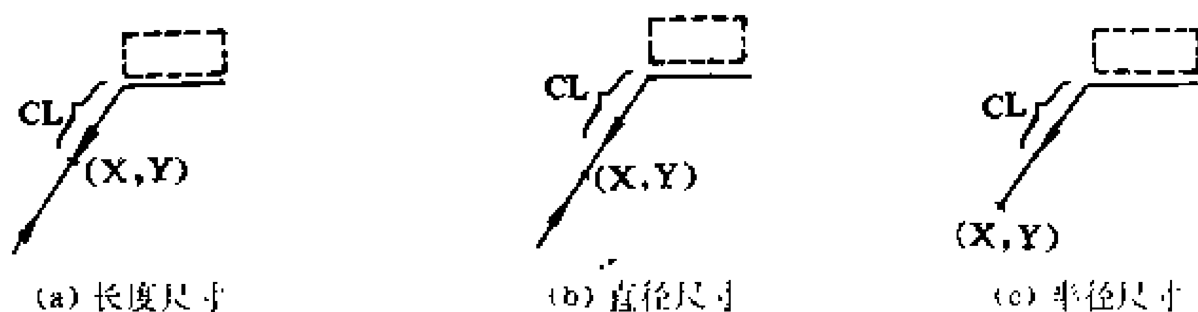
X、Y、ANG、BH：其意义与 ZDIM01 子程序同。

CL：尺寸线延长端的距离，可正负，如表 12-3 所示。

表 12-3　在长度、直径、半径尺寸的 CL 的位置规则

	CL > 0，文本在右	CL < 0，文本在左	CL > 0，文本在右	CL < 0，文本在左
长度尺寸 CL 在 X、Y 端	CL B(X,Y) A	B(X,Y) CL A	B CL A(X,Y)	B A(X,Y) CL
直径尺寸 CL 沿 ANG 方向	CL ANG X,Y	CL X,Y	ANG X,Y CL	X,Y CL
半径尺寸 CL 沿半径延长	CL X,Y	CL X,Y		

如果尺寸过于小时，则尺寸箭头自动改为指向内部，如图 12-67 所示。



(a) 长度尺寸　　(b) 直径尺寸　　(c) 半径尺寸

图 12-67　过小尺寸的箭头改变方向

* 4. 无尺寸界线的尺寸标注子程序之四 FDIM02(X,Y,ANG,CL,BH,SCL)

功能：在局部放大图上标注 ZDIM02 子程序所标注的各种尺寸。

SCL：局部放大图比例。

其余参数与 ZDIM02 子程序参数同。

5. 无尺寸界线的尺寸标注子程序之五 ZDIM03(X,Y,ANG,XP,YP,BH)

功能：尺寸文本标在引出线的水平线上，可标注长度、直径(螺纹)尺寸。

X、Y、ANG、BH：其意义与 ZDIM01 子程序同。

XP、YP：所标注尺寸文本第一个字符的左下角点的坐标，如图 12-68 所示。

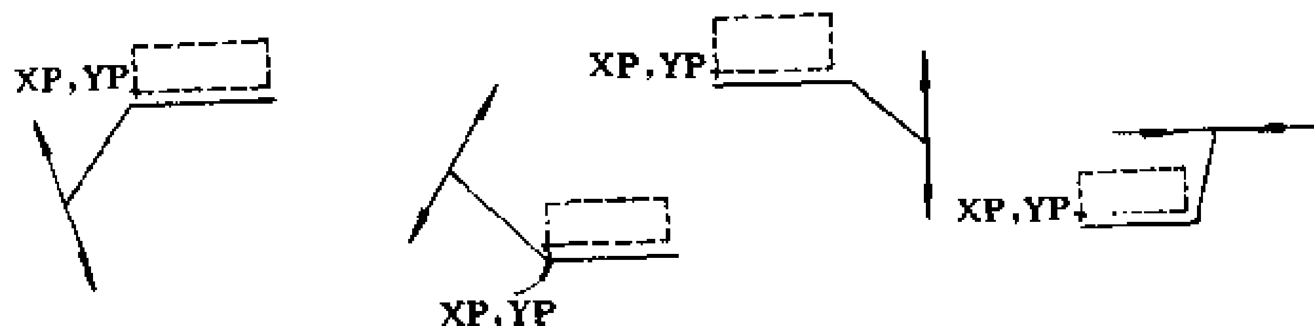


图 12-68 尺寸标在引出线上

*6. 无尺寸界线的尺寸标注子程序之六 FDIM03(X,Y,ANG,XP,YP,BH,SCL)

功能：在局部放大图上标注 ZDIM03 子程序所标注的各种尺寸。

SCL：局部放大图比例。

其余参数与 ZDIM03 子程序参数同。

*7. 有尺寸界线的尺寸标注子程序之一 ZDIM04(X1,Y1,X2,Y2,EXT1,ANG,BH)

功能：有尺寸界线的尺寸标注，尺寸文本标在尺寸线或其延长线上，可标注长度、直径、螺纹等尺寸，尺寸线方向水平、垂直或一般均可。

X1、Y1：第一根尺寸界线的起点坐标。

X2、Y2：第二根尺寸界线的起点坐标。

EXT1：第一根尺寸界线长，可正负。

ANG：以 X1、Y1 一侧的尺寸线端点为基点，尺寸线与 X 轴正向的夹角，可正负。

BH：与 ZDIM01 子程序意义同。

当尺寸文本长大于两尺寸界线距离时，则将尺寸文本标在第一根尺寸界线一侧的尺寸线延长线上。

EXT1 的正负值由尺寸界线的方向与 X 轴正向的夹角 α 相对于 ANG 角的关系式确定。

如 $\alpha = \mathrm{ANG} + 90°$ 　　则 EXT1 为正值；

如 $\alpha = \mathrm{ANG} - 90°$ 　　则 EXT1 为负值。

各参数在图形中意义如表 12-4 所示。

*8. 有尺寸界线的尺寸标注子程序之二 ZDIM05(X1,Y1,X2,Y2,EXT1,ANG,X3,Y3,BH)

功能：有尺寸界线的尺寸标注，尺寸文本标在引出线上，可标注长度、直径、螺纹等尺寸，尺寸线方向水平、垂直或一般均可，见图 12-69。

X1、Y1、X2、Y2、EXT1、ANG、BH：其意义与 ZDIM04 子程序参数同。

X3、Y3：尺寸文本第一个字符的右下角点的坐标(图 12-69)。

*9. 尺寸界线倾斜于尺寸线的尺寸标注子程序 ZDIM06(X1,Y1,X2,Y2,X3,Y3,BH)

表 12-4　ZDIM04 子程序各参数意义

$\alpha = ANG + 90°$　　EXT1 > 0	$\alpha = ANG - 90°$　　EXT1 < 0
ANG=180°	ANG=0°
ANG=90°	ANG=270°

图 12-69　尺寸引出标注

功能：尺寸界线倾斜于尺寸线的尺寸标注，两根尺寸界线长相等，尺寸线与X1，Y1；X2，Y2的连

线平行，尺寸文本写在尺寸线上或尺寸线的延长线上，如图 12-70 所示。

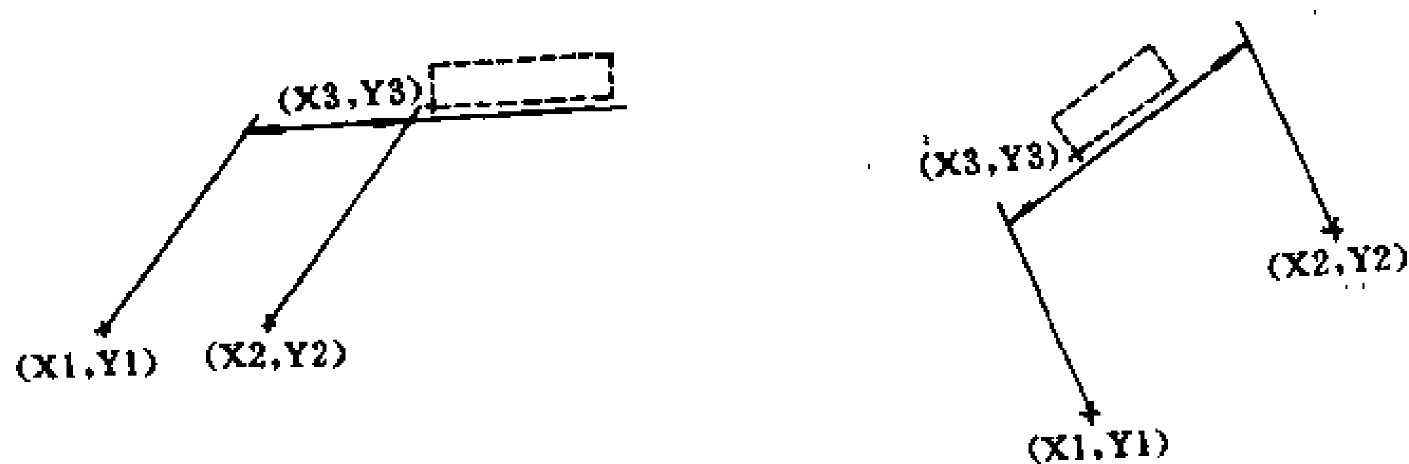


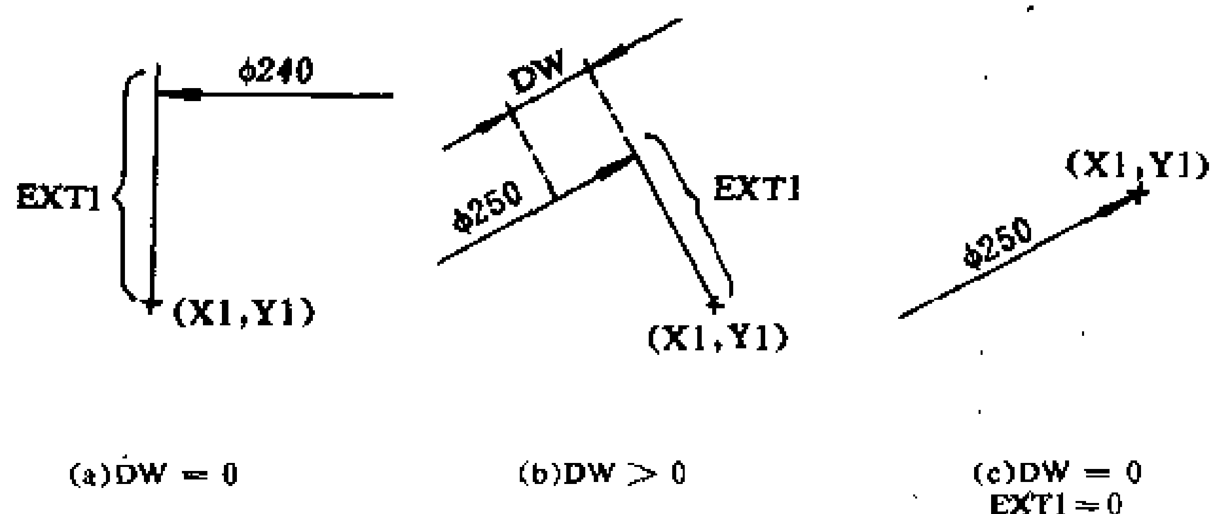
图 12-70　尺寸界线倾斜于尺寸线时的尺寸标注

X1、Y1、X2、Y2、BH：其意义与 ZDIM04 子程序参数同。

X3、Y3：尺寸文本第一个字符的左下角点的坐标(图 12-70)。

10. 对称尺寸标注子程序之一 ZDIM14(X1,Y1,DW,EXT1,ANG,BH)

功能：当对称机件图形画出一半或略大于一半时的尺寸标注，如图 12-71 所示。



(a)DW = 0　　(b)DW > 0　　(c)DW = 0 EXT1 = 0

图 12-71　对称尺寸标注

X1,Y1：要画出的尺寸界线的起点坐标。

DW：尺寸文本标注在尺寸线上的位置规定。

DW = 0　尺寸文本标注在尺寸线上的位置规定。

DW > 0　其值为尺寸文本距尺寸界线的距离。

EXT1,ANG,BH：与 ZDIM04 子程序的相应参数意义同。

当 EXT1 = 0 时，则尺寸界线不画，X1,Y1 与尺寸箭头端点重叠(见图 12-71c)。

* 11. 对称尺寸标注子程序之二 FDIM14(X1,Y1,DW,EXT1,ANG,BH,SCL)

功能：在局部放大图上标注 ZDIM14 子程序所标注的各种尺寸。

SCL：局部放大图比例。

其余参数意义与 ZDIM14 子程序参数同。

* 12. 角度尺寸标注子程序之一 ZDIM09(XR,YR,ANG,R,R1,BH)

功能：标注角度尺寸，如图 12-72 所示。

XR,YR：尺寸线圆弧的圆心坐标。

ANG：第一根尺寸界线与 X 轴正向的夹角，可正负。

R：尺寸线圆弧方向半径，如第一根尺寸界线至第二根尺寸界线为逆时针方向，R > 0；反

之,R < 0。

R1:尺寸界线起点离 XR,YR 的距离。

BH:标注的文本内容。

如 BH = ' 60 °&',BH = ' 30 °20'&',BH = ' 25 ° ± 0.01&',用变量为:BH = V1 °&,BH = ' V2 °3'&',BH = ' V4 ° ± V5&'。

角度中的分(如 15°25')应用预选字表中的符号输入,而不能用键盘上的 ' 的号码。

图 12-72 列出四个角度尺寸标注的例子和子程序参数意义的图例说明。

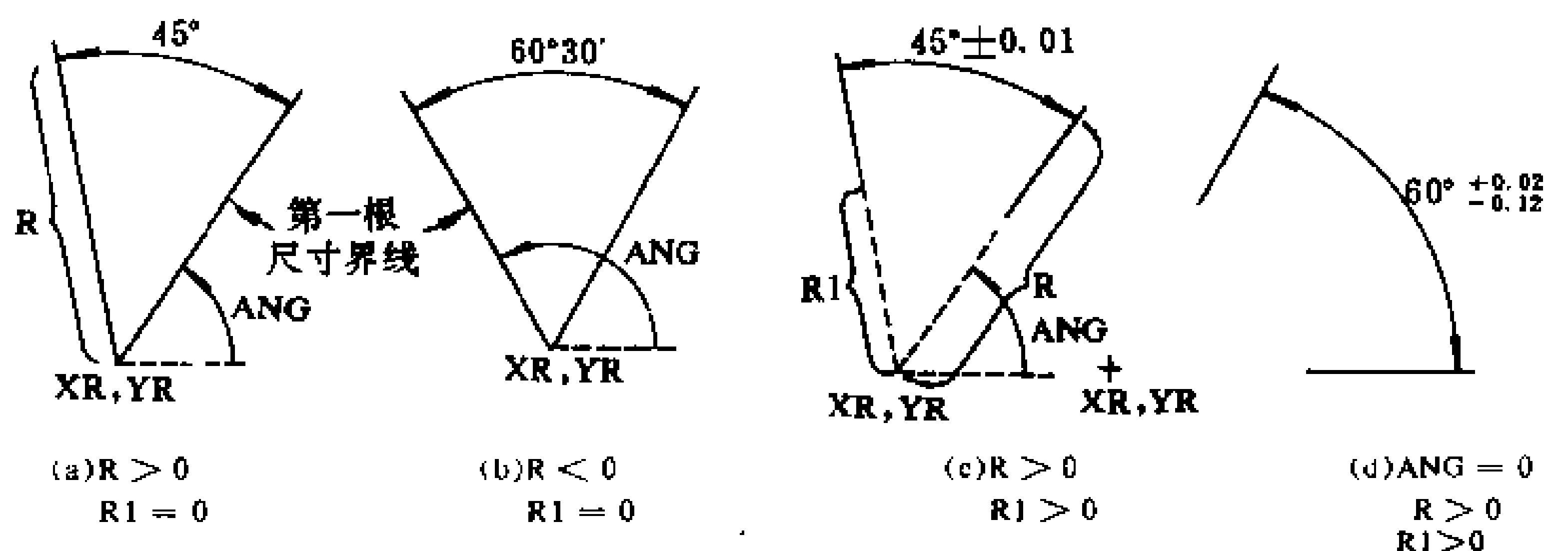


图 12-72 角度尺寸标注

* 13. 角度尺寸标注子程序之二 RDIM09(XR,YR,ANG,R,R1,ANGW,RW,BH)

功能:除具有 ZDIM09 子程序的功能外,还能较随意地确定尺寸文本的标注位置,如图 12-73 所示。

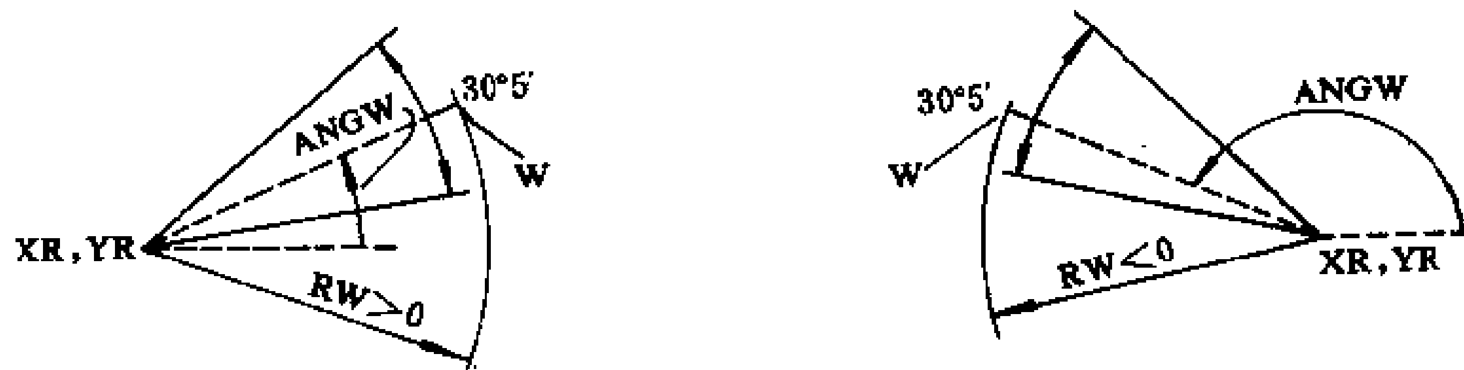


图 12-73 角度尺寸标注

XR,YR,ANG,R,R1,BH:与 ZDIM09 子程序参数意义同。

ANGW:尺寸文本第一个字符的左下角点或最末个字符的右下角点至 XR,YR 的连线与 X 轴正向的夹角。

RW:W 点至 XR、YR 的距离,如 W 是第一个字符的左下角点,RW 为正值;如 W 是最末个字符的右下角点,RW 为负值。

14. 大圆半径标注子程序 ZDIM13(XC,YC,X0,Y0,ANG,BH)

功能:标注圆心在图纸以外的大圆半径,如图 12-74 所示。

XC,YC:所画圆弧的圆心坐标。

X0,Y0:标注大圆半径尺寸时的定位点坐标。

ANG:图 12-74 中 CB 与 X 轴正向的夹角。

BH:标注的尺寸文本内容。

* 15. 倒角、说明、引出粗糙度等标注子程序 ZDIM11(X,Y,ANG,CL,BH)

功能:在三种形式的引出线上,标注倒角、说明、粗糙度等内容,如表 12-5 所示。

表 12-5　ZDIM11 子程序标注示例

BH 内容	图　　例	说　　明
BH = '/‾1　× 45°&'	1×45° CL ANG X,Y CL>0	1 与 45 均可用变量代替
BH = '√‾ 尖角锉圆 &'	尖角锉圆 CL>0	
BH = '√‾▽/3.2　&'	3.2 ANG CL X,Y CL<0	粗糙度的详细标注规则见 12.7.4 节

X,Y:引出线的起点坐标。

ANG:引出斜线与 X 轴正向的夹角。

CL:引出斜线长,可正负。如所标字符在引出斜线终点的右侧,则 CL > 0,否则 CL < 0。

BH:标注字符文本。

16. 加画方框子程序 ADDBOX

功能:在已标好的尺寸值外加画方框,如图 12-75 所示。

在调用任意一个尺寸标注子程序后,可立即调用 ADDBOX 子程序,子是在尺寸值及其前缀的外面加画方框,调用方式如下:

```
…
CALL ZDIM01(X,Y,ANG,'∅　252　&')
CALL ADDBOX
…
```

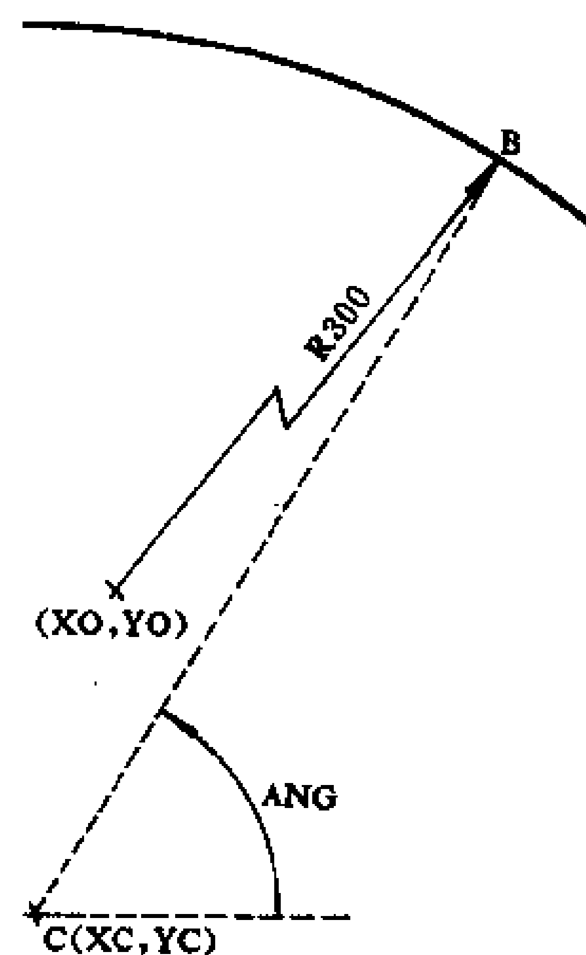


图 12-74　大圆半径标注

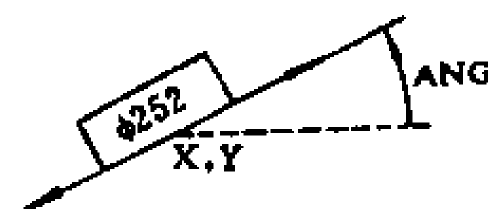


图 12-75　加画方框

12.7.3　一般符号标注子程序

1. 剖面迹线、向视图符号标注子程序 SIGN01(X,Y,M,BH)

功能:生成剖面迹线、向视图箭头及其上标识的符号。

X,Y:数组,剖面迹线经过的转折点坐标。

M:转折点总数。

BH:标识的字符内容,如表 12-6 所示。

表 12-6　剖面迹线及向视图符号标注

M 与 BH 内容	图　　例	说　　明
M = 5 BH = 'L AAAAA&'	A 4 X(5),Y(5) A 3 A 2 A A X(1),Y(1) A	若某个字符图中无位置不标注时，对应的 BH 中改为 N，如 BH = 'L AANAA&'，第三个不标。
M = 6 BH = 'L AAOAAA&'	O 3 A 5 6 A 4 A 1 A 2 A	箭头指向按 1，2，…，6 的前进方向左侧的原则确定。
M = 2 BH = '⊥ AABB&'	A 2 B A 1 B	AA 写在 1、2 前进方向左侧，若将 BB 写在左侧，则将 BH 改为 '⊥ BBAA&'。
M = 2 BH = '↑ A&'	A 1 2	
M = 2 BH = 'L AA&'	A 1 2 A	
M = 2 BH = 'L NN&'	1 2	
M = 2 BH = 'L AA&'	A 1 2 A	箭头指向 1、2 前进方向左侧
M = 2 BH = 'L NN&'	1 2	箭头指向 1、2 前进方向左侧

2. 任意字符标注子程序 SIGN03(X，Y，BH)

功能：标注任意组合一起的字符。

X，Y：所标注字符串的第一个字符的左下角点坐标。

BH：字符内容，其标注形式如表 12-7 所示。

表 12-7　任意字符标注形式

BH 内容	示　　例	说　　明
BH='A-A 旋转&'	(X,Y)A—A 旋转	
BH = 'A-A 展开 %2 : 1&'	(X,Y)A—A 展开 / 2 : 1	% 表示需画一长划，长划上、下的字符分别注在 % 的前、后面
BH = 'I%2 : 1&'	(X,Y) I / 2 : 1	

3. 放大符号标注子程序 SIGN04(X1,Y1,X2,Y2,AX,AY,BH)

功能：生成放大符号及标注必要的字符，如图 12-76 所示。

X1,Y1：放大符号中心坐标。

X2,Y2：供标注字符用的水平线端点坐标。

AX,AY：放大符号的 X 方向长和 Y 方向长。

BH：标注内容。

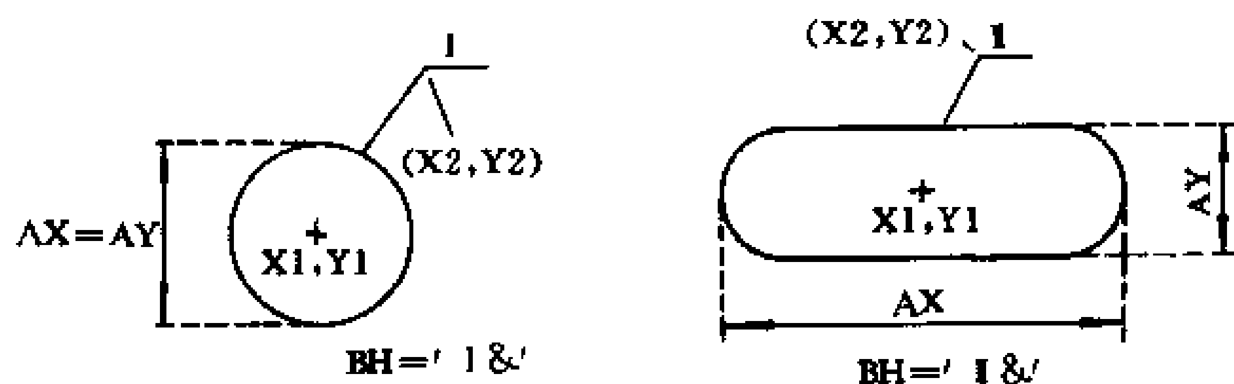


图 12-76　放大符号标注

4. 旁注法说明标注子程序 SIGN09(X,Y,X1,Y1,BH)

功能：生成三种引出线，用旁注字符说明(BH 内不能用变量)，如表 12-8 所示。

X,Y：引出线的起点坐标。

X1,Y1：标注的第一个字符的左下角点的坐标。

BH：标注字符内容。

5. 零件序号标注子程序之一SIGN10(X1,Y1,X2,Y2,X3,Y3,BH)

功能：标注各种形式的零件序号。

X1,Y1：引出线的起点坐标。

X2,Y2：引出线的终点坐标，即水平线的起点坐标。

X3,Y3：水平线和多层水平线向何方向引的导向点坐标。

BH：标注的字符内容。

表 12-8　旁注法说明标注

BH = '√‾尖角锉圆&'	(X,Y) (X1,Y1) 尖角锉圆
BH = '√‾δ = 3&'	(X1,Y1) δ=3 (X,Y)
BH = '√‾1 : 10&'	(X1,Y1) 1 : 10 (X,Y)
BH = '√‾钻孔 % 配作 &'	(X1,Y1) 钻孔 配作 (X,Y)

标注形式如表 12-9 所示，表中 1、2、3 分别表示(X1,Y1)、(X2,Y2)、(X3,Y3) 的位置。

表 12-9　零件序号标注形式之一

BH 内容	图　　例	说　　明
BH = '√‾7&'	3 • 7 2 1	X3 < X2 Y3 = Y2
BH = '√‾15&'	1 15 •3 2	X3 > X2 Y3 = Y2
BH = '√‾23&'	2 23 •3 1	X3 > X2 Y3 = Y2
BH = '√‾8　9　10&'	8 9 10 2 3 1	X3 < X2 Y3 = Y2
BH = '√‾4　5　6&'	4 5 6 2 3 1	X3 > X2 Y3 = Y2
BH = '√‾16　17 18　19&'	1 16 17 18 19 3 2	X3 > X2 Y3 = Y2

续　表

BH = '√‾6　7　8&'		X3 > X2 Y3 > Y2
BH = '√‾9　10　11&'		X3 < X2 Y3 > Y2
BH = '√‾12　13　14&'		X3 > X2 Y3 < Y2
BH = '√‾16　17　18&'		X3 < X2 Y3 < Y2

6. 零件序号标注子程序之二 SIGN11(X1,Y1,X2,Y2,XA,YA,X3,Y3,BH)

功能:除 SIGN10 子程序标注的各项功能外,还能在引出线 1 点与 2 点之间产生一个转折,如图 12-77 所示。

X1,Y1,X2,Y2,X3,Y3,BH:其参数意义与 SIGN10 子程序参数同。

XA,YA:转折点坐标。

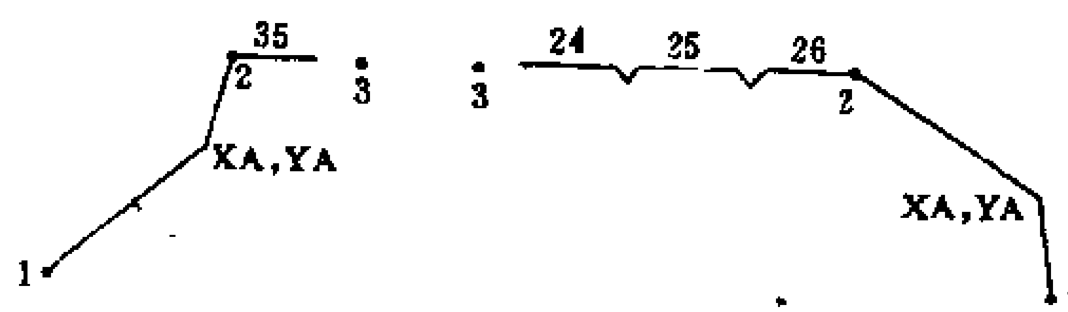


图 12-77　引出线转折的零件序号标注

7. 一行字符书写子程序 HWORD4(X,Y,H,W,ZD,ANG,BH)

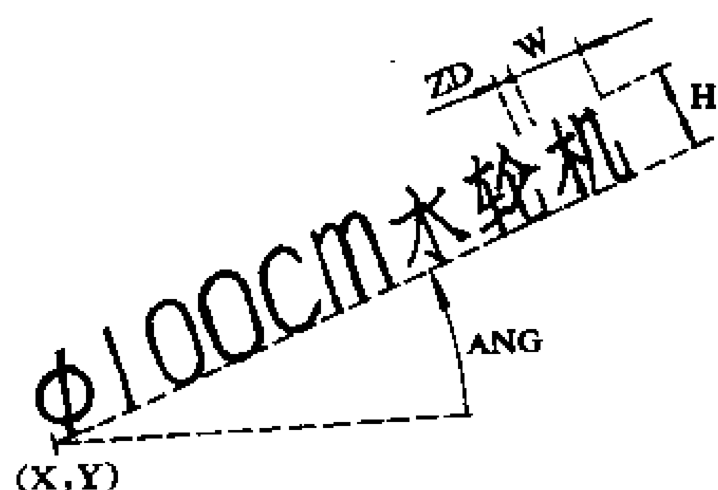
功能:书写一行带变量(也可不带变量)汉字、字符串,如图 12-78 所示。BH 中最多可容纳 70 个 ASCⅡ 编码的字符,结束符 & 包括其内。

X,Y:第一个字符的左下角点坐标。

H,W,ZD:字符的高度、宽度与字间距。

ANG:一行字的转角,可正负。

BH:书写字符的内容。



BH='φ100cm 水轮机 &'
也可将 100 写成变量形式
BH='φV1cm 水轮机 &'

图 12-78　字符书写形式

12.7.4　**粗糙度标注子程序** SIGN05(X,Y,ANG,BH)

功能:标注各种形式的粗糙度,如图 12-79、图 12-80 所示。

X,Y:粗糙度符号的定位点坐标,取粗糙度尖角。

ANG:粗糙度符号的中心线,与 Y 轴正向的夹角(图 12-79)

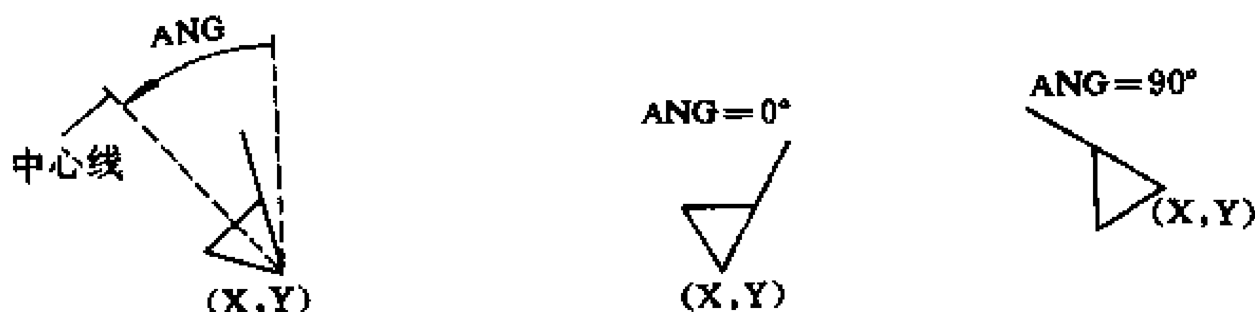


图 12-79　粗糙度转角的意义

BH:标注粗糙度的内容,较完整的标注如图 12-80 所示,这时:

BH = '▽A1　A2　A3　A4　A5&'

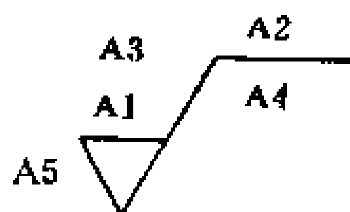


图 12-80　较完整的粗糙度标注

一般情况的标注如表 12-10 所示。

12.7.5　**图形档案的存取**

对于已生成的零件图,可以将记录在图形档案中的图形信息、标注信息建立图形数据文件存在盘上,也可将已在盘上建立的图形数据文件读出来,重新显示或绘图输出,下面说明的两个程序就是为完成这两项功能而设计的。

1. 建立图形数据文件子程序 WRIDAT

功能:将已生成图形的图形档案建立一个图形数据文件,并存到盘上。

该子程序无形参,用户可在主程序的 END 语句前调用它。执行该子程序时,系统提示用户输入一个图形数据文件名(小于 8 个字符),系统得到文件名后自动把图形档案保存在该文件中。这样可在下面执行文件 DRAW.EXE 中,读出图形数据文件后,重新显示或绘图输出其图形。

表 12-10　粗糙度标注示例

BH 内容	图　　例	BH 内容说明
BH = '▽/12.5&'	12.5	A1 后加结束符
BH = '√3.2　铣 &'	3.2 铣	A1、A2 间空格 A2 后加结束符
BH = '⌀/1.6　　6.3&'	6.3 1.6	A1、A3 间两个空格 A3 后加结束符
BH = '√Rz3.2　镀铬 &'	Rz3.2 镀铬	A1、A2 间空格 A2 后加结束符

2. 重新显示和绘图输出的执行文件 DRAW.EXE

功能：该执行文件用于重新显示或绘图输出已存图形数据文件的所有内容。

执行 DRAW.EXE 时，系统相继询问以下各项：

(1) 是显示还是绘图输出；

(2) 图形数据文件名；

(3) 选择图幅；

(4) 是否按原来位置显示 / 绘图输出。

操作者按提问要求相继正确回答后，图形数据文件描述的整幅图形就作显示输出或绘图输出，若作显示输出，还可在屏上进行开窗、局部放大等操作。

12.8　交互式计算机绘图

交互式计算机绘图通过图形显示与图形输入手段来实现，有多种图形输入设备，其用法各不相同，并都有各自特点，但就图形输入来说，它们的逻辑功能大致可分为五类，即定位、选择图形元素或基本图形、功能选择、数量输入和字符输入。

大多数输入设备均可实现上述五种逻辑功能，所以对一个图形系统来说，配上一种至两种对要解决问题最适用的图形输入设备，再通过软件来实现所需的逻辑功能便可开展图形交互工作了。

12.8.1　基本输入方法

1. 键盘输入

键盘是主计算机的基本输入与人机交互的控制部件。在图形处理系统中，虽然有多种图形输入装置，但键盘输入仍是输入图形数据的重要手段，在需要高精确度的场合更是如此。

键盘主要输入字符、数字及控制字符，经过处理也可输入整数、实数和字符串，从而可以输入图形的几何数据、属性数据、名字、命令和菜单。

2. 定位

许多图形设备可用来定位，但必须明确定位点(X、Y)究竟是什么坐标系下的坐标。用键盘可以直接输入用户坐标，其他图形设备，则为设备坐标，要经过窗口 —— 视区变换才能转化为用户坐标。所谓窗口就是在坐标面上定义的一个矩形区域，只有在窗口内的图形被显示出来，窗口外的部分被裁剪掉，二维窗口的作用相当于照相机的取景器。窗口内的图形在屏幕或绘图纸上显示／绘图的矩形区域称为视区，矩形的两邻边分别平行坐标轴，窗口中的图形应成比例地变换到视区。

(1) 光笔定位

光笔是外形似笔的输入装置，用以收集屏上发出的光，并转换成电信号，再反馈给计算机。

由软件产生一个光标，用光笔拖动光标，因为每次拖动要保留光标所在位置各象素的状态，离开时恢复，就是使拖动光标的速度受到一定的限制。把光标移到所需位置，按某一键时就发生中断，主机响应这个中断就可以把中断信息及光标中心位置(X0,Y0)通过输入指令加以接受。

(2) 数字化输入板定位

利用数字化输入板定位时，在屏上设置一个光标，光标与触针或游标同步移动。如需要，还可在每次定位后屏上留一个点。

如果是用户坐标定位，应先指定窗口，把窗口对应于输入板上的视区，同时也对应于显示器的视区，如图 12-81 所示，数字化输入板的坐标转变成屏坐标在屏上显示，坐标数据要转化为用户坐标存入。

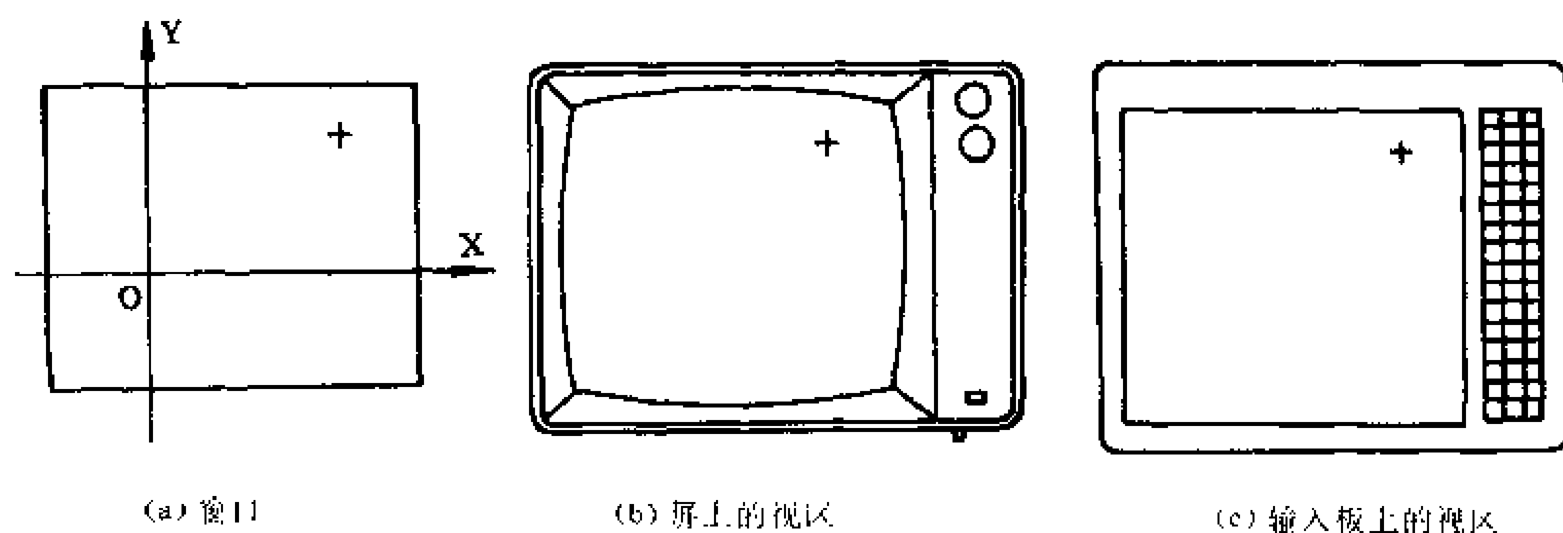


图 12-81 窗口、屏上视区和输入板的视区对应

(3) 键控光标定位

用软件在显示屏上产生一个光标，而后以键盘控制光标的移动进行定位。

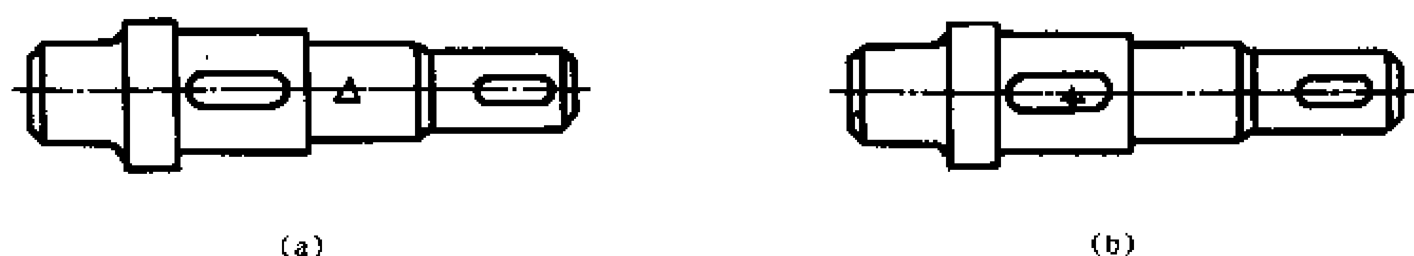
光标以十字形为宜，大小可以改变。光标大，则较醒目，有利于对准，但大的光标移动比较慢。

3. 指定图形对象

指定图形对象就是用光笔或光标在显示屏上已显示的图样中确定某个特定的对象。特定的对象可以有两种形式，一种指基本图形元素，如直线、圆弧、点划线等；一种是指基本图形，如矩形、键槽、轴段等。前者是在每生成一个图形元素时，均同时在系统公用区的有关数组中记录该图形元素的几何信息与属性(线型类别)的档案；后者可在用户自身公用区的有关数组中记录基本图形的参数档案。当然，交互式图形处理系统中也可设置若干基本图形及其公用区，供用户使用。

可以设计两种不同形状或不同颜色的光标，以表明所指的图形对象属于哪一类。当图形元素的光标移到某个图形元素的线上或其附近时，系统就按光标所在位置的坐标值搜索图形元素档案，查出那个图形元素后，就闪烁基本图形以期操作者确认。当指定基本图形的光标移到某个基本图形的内部时，系统就按光标所在位置的坐标值搜索基本图形，查出那个基本图形后，就闪烁该基本图形以期操作者确认。如果两个图形元素靠得很近，或者两个基本图形的内部有共同的区域，则第一个搜索到的图形很可能被否定，于是系统再继续搜索，对搜索到的图形再次闪烁，如果搜索不到，则显示搜索不到的判断信息。

图 12-82a 表示图形元素光标移到点划线的基本图形元素上，图 12-82b 表示基本图形光标移到键槽的基本图形内部。



(a) (b)

图 12-82 指定图形对象

12.8.2 **菜单技术**

菜单是一些功能处理子程序，下面说明的是光按钮方式的菜单，这种方式的优点是图形与菜单在一个屏幕上，无须附加别的输入设备，菜单名在屏上显示，便于操作者调用。点菜单不用死记命令和参数，只需按指示信息进行操作，因此受到用户、特别是不熟悉计算机专业知识的用户的欢迎。现代图形处理系统都采用这种方式。

1. 菜单设计原则

(1) 因为屏幕较小，显示的图形与菜单又在同一个屏幕上，所以菜单占的面积应尽量小，而且只作暂时占用性质，点完菜单后又自动恢复屏上的图形；

(2) 菜单内容的种类、数量较多，除编排时合理分组外、图形处理系统应能尽快地取到所需的菜单，尽量减少击键次数和尽量击同一个键，以提高人机交互功能的效率；

(3) 为适应一般人理解菜单内容与便于操作，用汉字菜单、汉字指示信息为宜。有的菜单意义不便于用文字表示，用符号、图形会更清楚，所以应设置图形菜单。

2. 菜单显示方式与操作

(1) 进人菜单操作

进人菜单操作时，屏上方第一行显示主菜单(第一层菜单)，打一规定的键活化菜单之后，就可执行某一个主菜单，这时屏上内容如图 12-83 所示。

每一个主菜单包含多个与其相关的子菜单，由子菜单可直接进入绘图或有关功能的子程序，也可由这一层的子菜单指出它所属的若干个分子菜单，由分子菜单进入绘图或有关功能的子程序。

屏下方是汉字输入的区域、右下方的 X、Y 显示当前光标的坐标值。

(2) 下拉菜单

按特定的键执行某一个主菜单时，在该主菜单下方显示其包含的子菜单，图 12-84 表示"二维绘图"所属的 9 个子菜单，操作者就在这 9 个菜单中按特定的键选择。退出下拉菜单时屏幕又恢复图 12 83、如下拉菜单区域内有图形，则图形恢复原状。

(3) 弹出菜单与滚动菜单

M 系统管理	G 二维绘图	T 图形变换	B 基本图形	D 尺寸标注	W 开窗与修改	H 帮助

X=　　Y=

COMMAND

汉字输入

图12-83　进入菜单操作时屏上显示内容

当进入下拉菜单中的某个菜单时，该菜单包含着若干个分子菜单，这些分子菜单又可单独显示出来。图 12-85 表示进入图 12-84 中的圆弧菜单后生成的弹出菜单，由于生成圆弧的方式有 多种，将各种生成圆弧的菜单编排在一起另行显示，菜单中"心 RAD"表示由圆心坐标、半径、起始角、要画的角决定圆弧；"心起终"表示由圆心坐标、起点坐标、终点坐标决定的圆弧；"起终 RK"表示由起点坐标、终点坐标、圆弧方向半径与优弧、劣弧标志决定的圆弧；"三点"表示由三点决定一个圆弧。当进入其中任意一个菜单时，该弹出菜单即消失，弹出菜单区恢复原状，屏上出现光标和指示信息，要求操作者用光标定点并输入有关参数。

滚动菜单即在图 12-84 原下拉菜单"R 圆弧"处，相继按某功能键滚动显示上述四个菜单，提供操作者选择。

3. 菜单的编号与菜单处理子程序

每一个主菜单下可设置 256 个子菜单，一般情况是用不足的，图 12-83 所示主菜单下属的子菜单编号如表 12-11 所示。

表 12-11　菜单编号

主菜单	系统管理	二维绘图	图形变换	基本图形	尺寸标注	窗口与修改	帮　助
子菜单编号	0 | 255	256 | 511	512 | 767	768 | 1023	1024 | 1279	1280 | 1535	1536 | 1791

M 系统管理 | G 二维绘图 | T 图形变换　B 基本图形　D 尺寸标注　W 开窗与修改　H 帮助

C 颜色
T 线型
L 直线
R 圆弧
H 虚拟线
W 波浪线
P 样条线
S 剖面线等
G 几何交切

X=　　Y=

COMMAND
汉字输入

图12-84　下拉菜单

每一个菜单处理子程序与每一个菜单相对应，实际上与每一个子菜单编号相对应，菜单处理程序提示操作者必须输入哪些信息，并接收这些信息，然后调用相应图形子程序等。

可以在某个主菜单下增加子菜单，当然也要增加相应的菜单处理子程序，这就是对系统的扩充。

4. 键盘命令

与菜单同时使用的有键盘命令，即输入某一个命令键后，执行某项操作。最常用的键盘命令是使菜单活化、消除活化、下拉等命令，根据需要也可设置一些其他的命令。

5. 原图信息保存与原图恢复

下拉菜单与弹出菜单很可能与屏上图形重叠，为保证图形显示的完整性，在上述两种菜单显示前，把即将占据的原图区域内的信息以象素为单位记录在专用的数组中，退出下拉菜单或弹出菜单时，又立即将上述记录的信息显示在屏幕上，使原图得以恢复。这两项工作可以通过适时调用专用子程序来实现。

12.8.3　交互手段与环境

为了更有效地实现人机交互，这里讨论一些使操作者感到方便的交互手段。

1. 图形反馈

在用光笔指点图形对象时，如果被指点的对象会马上闪烁或加亮，那么对操作者自然是一个很有用的反馈信息。

在键控光标移动的操作中，光标随着键的操作而移动。在图形输入板定位时，显示屏上光

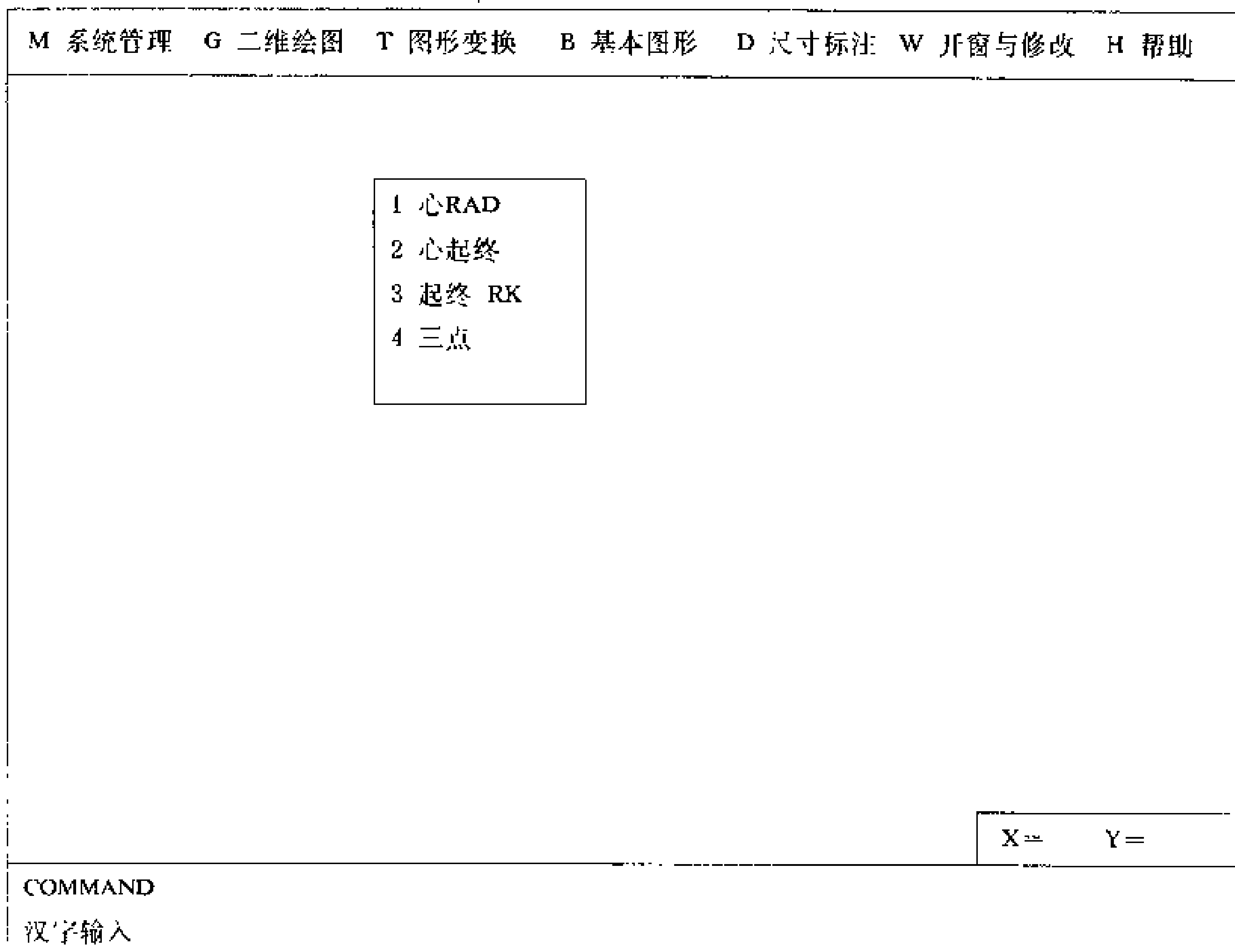


图12-85 弹出菜单

标相应移动，这些都是图形反馈，它们的重要性是显然的。

当然，随着操作者日趋成熟，某些反馈信息变得不太重要。但是完全不用反馈那是不可能的，因为人机交互本身就意味着人对计算机输送信息，计算机向人反馈某些信息，人根据这些信息又进一步向计算机发送信息，如此循环，直至得到最后结果。

反馈要耗费计算机的资源(占用空间，耗费运算时间)，过多的反馈会使人机交互的效率降低，因而适当安排反馈信息是设计交互性图形处理系统的一个重要课题。

2. 网格、标尺与准线

在用光标进行定位操作时，如果显示屏上出现坐标网格，对于正确定位是有帮助的(图 12-86)，像绘图用的坐标纸那样，用较暗的线表示细的网络，而用较亮的线画较大的网格。但是网格的亮度不宜过分，而且须比光标暗些。

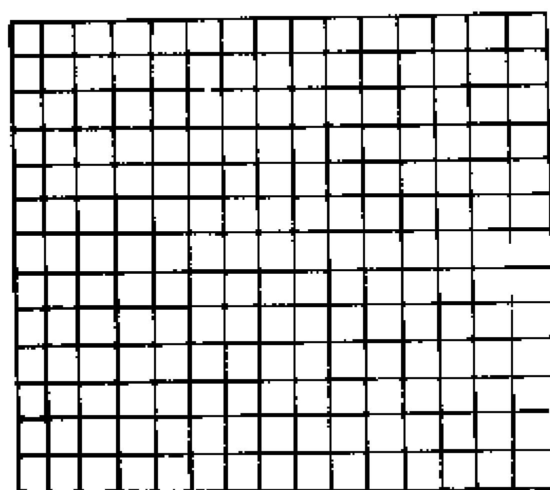


图 12-86 网格显示

确定两点间的距离也可使用游标尺(图 12-87a) 代替网格。游标尺可以像游标、光标那样调到给定的位置，不需要时可以消去。

为了比较彼此的位置关系，还可以使用准线，如图 12-87b 所示。

3. 像皮带功能

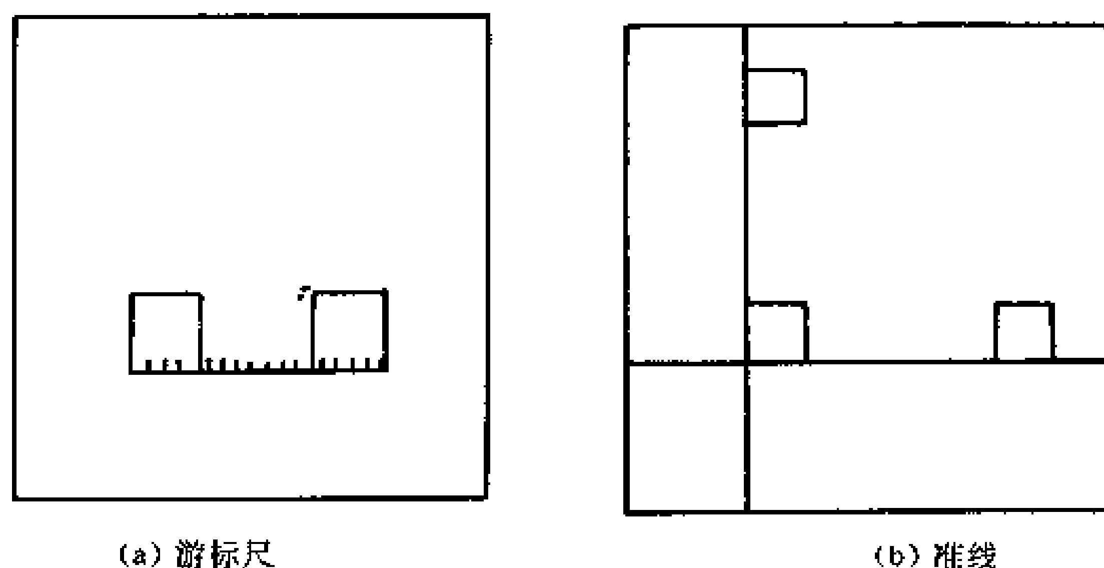


图 12-87　游标尺与准线

如果要从 A 到 B 引一线段，可先把光标定位于 A，然后将光标移到 B。此时，马上出现线段 AB，并且随着坐标的移动，线段 AB 也跟着移动(伸长或缩短)，见图 12-88a，好像 AB 是一根橡皮带。这就是橡皮带功能。

橡皮带功能对于决定一个线段、且需要考虑与其他点、线段的关系时是十分有用的，因为利用这种反馈，操作者可以随时判定所引的线段是否合适。例如，要求线段 AB 与圆 C 相切，见图 12-88c，利用橡皮带功能就容易做到。

用橡皮带功能还可以产生折线和矩形，见图 12-88b、d。

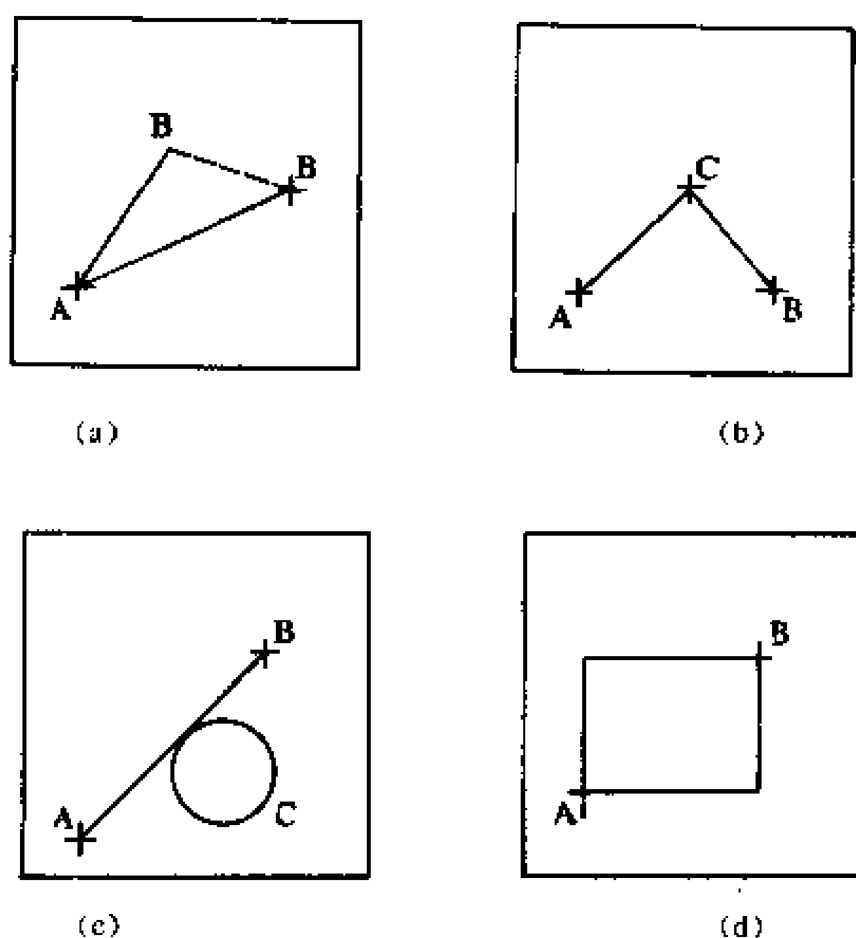


图 12-88　橡皮带功能

4. 拖动

在移动光标时，使图形跟着一起动称为图形的拖动。拖动可以是平移，也可以是绕一个定位点转动，如图 12-89 所示。

在对图形进行位置安排的各种应用中，例如衣服开片的排料、船舶外壳钢板落料等问题，图形的拖动是非常有用的。

12.8.4　图形修改

在交互式图形处理中，图形修改是经常要遇到的。所谓图形修改，就是修改图形的档案。这

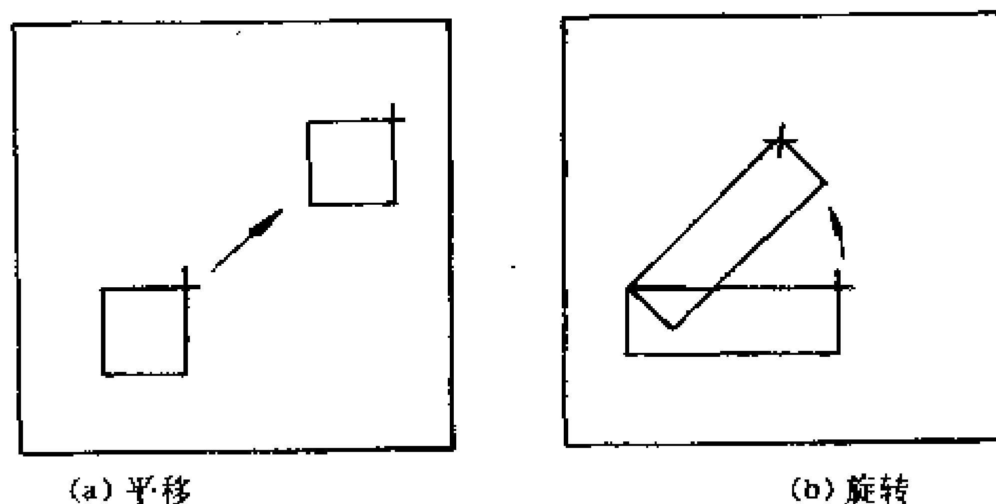

(a) 平移　　(b) 旋转

图 12-89　图形的拖动

里有两个问题，第一是如何指定要修改的对象；第二是如何对屏上显示的图形进行修改。对第一个问题在前面指定图形对象中已作说明，对第二个问题包含着修改基本图形元素与基本图形的两项内容。现分别说明如下。

1. 基本图形元素的修改

(1) 基本图形元素的档案

在第 12.5 节中曾提到用户调用基本图形元素时就同时生成基本图形元素的档案，它包括几何信息与属性。该图形档案存在公用区中，其数据结构如表 12-12、表 12-13 所示，前者为直线段的几何信息与属性，后者为圆弧段的几何信息与属性。属性表示此线的线型，如粗实线、细实线、虚线、点划线等。根据直线段或圆弧的几何信息和属性就可调用相应的基本图形元素子程序将它重新画出来，或作其他处理。

表 12-12　直线段的几何信息与属性

序号	起点坐标	终点坐标	属性
1	X_1 Y_1	U_1 V_1	IL_1
2	X_2 Y_2	U_2 V_2	IL_2
⋮	⋮	⋮	⋮
N	X_N Y_N	U_N Y_N	IU_N
⋮	⋮	⋮	⋮
NS	X_{NS} Y_{NS}	U_{NS} V_{NS}	IL_{NS}

表 12-13　圆弧的几何信息与属性

序号	圆心坐标	半径	起始角	要画的角	属性
1	X_1 Y_1	R_1	ANG_1	$DANG_1$	IC_1
2	X_2 Y_2	R_2	ANG_2	$DANG_2$	IC_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
NR	X_{NR} Y_{NR}	R_{NR}	ANG_{NR}	$DANG_{NR}$	IC_{NR}

(2) 基本图形元素的修改方法

修改基本图形元素的第一步是确定哪一个元素要修改，如表 12-12 中第 N 个元素要修改，首先将该元素从显示屏上消去，其方法是用屏幕底色按第 N 个元素的几何信息在屏上显示一遍，然后按不同的修改要求对图形档案进行修改，如果不是单纯的删去第 N 个元素，则还需对修改后的图形档案作显示输出。图 12-90 表示第 N 根直线段作各种修改的框图，框图中的 NS 表示建立图形档案的直线段共有 NS 根。

圆弧的修改方法及步骤与图 12-90 类似。

2. 基本图形的修改

(1) 基本图形的档案

每一个基本图形都由它自身的参数所确定，图 12-52 所示轴段图形档案的数据结构如表

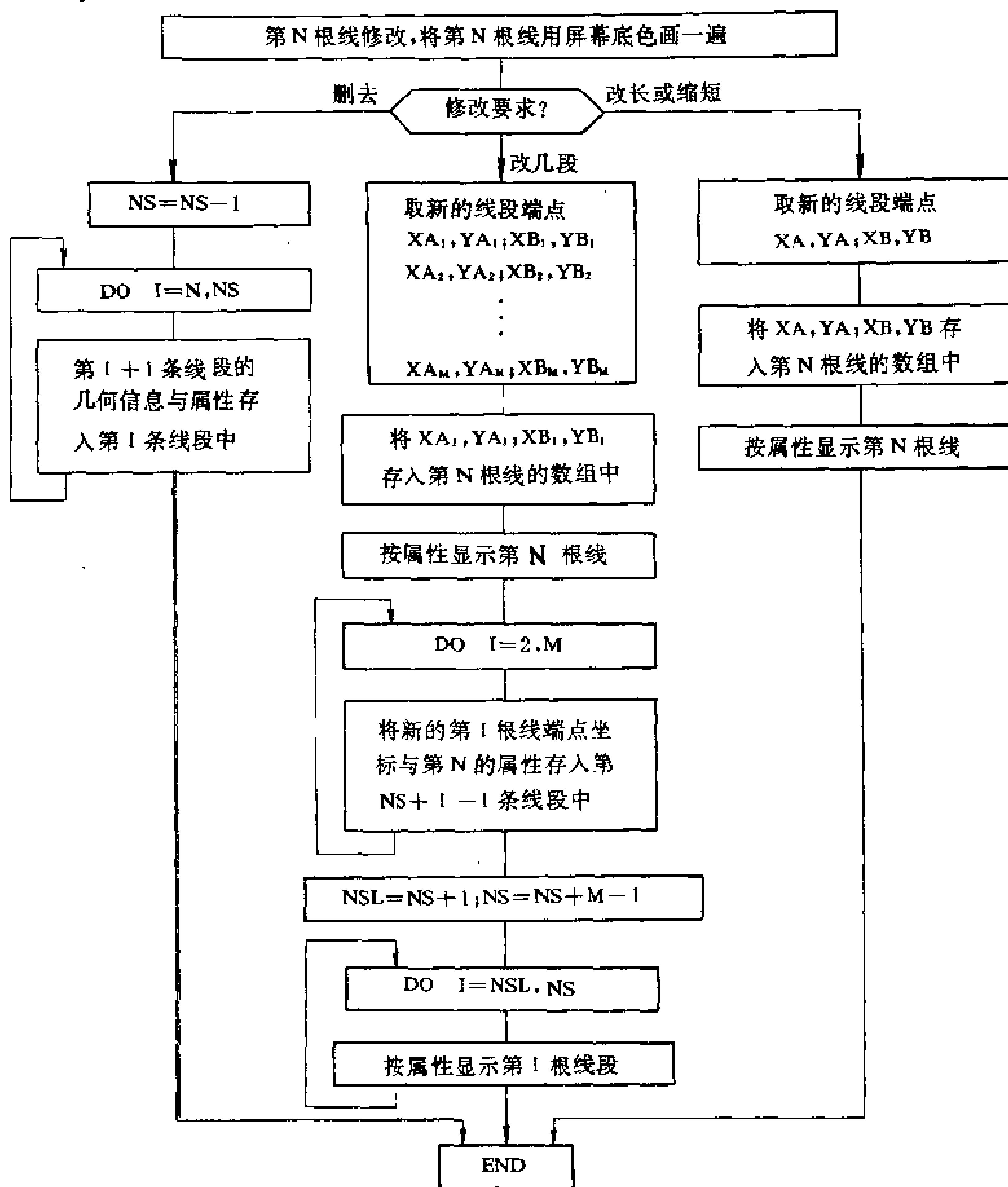


图12-90 修改第N根线的框图

12-14所示,该表说明一幅图中有NS个轴段和每一个轴段的一组数据,根据表中数据可调用轴段子程序,将轴段图形重新画出来或作别的处理。凡是轴段的图形档案都放在一个公用区里,以备调用或修改。对于其他基本图形,如键槽、矩形、均布孔等,也都建立各自的公用区和公用区里描述基本图形的数据。

(2)基本图形的修改方法

修改基本图形的第一步是确定哪个基本图形要修改,如表12-14中第N个轴段要修改,则取出第N个轴段的数据,再调用轴段子程序用底色显示一遍第N个轴段的图形,也就是将原有的第N个轴段从屏上擦去。然后就按不同要求对图形档案进行修改,如果是改轴段数据,应容许改多个数据,而且修改之后应将第N个轴段作显示输出。图12-91表示修改第N个轴段的框

图。

表 12-14　轴段的图形档案(对照图 12-52)

序号	定位点坐标	方向标志	倒角高	直径	轴段长	圆角半径
1	$X_1\ Y_1$	J_1	C_1	D_1	S_1	R_1
2	$X_2\ Y_2$	J_2	C_2	D_2	S_2	R_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N	$X_N\ Y_N$	J_N	C_N	D_N	S_N	R_N
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
NS	$X_{NS}\ Y_{NS}$	J_{NS}	C_{NS}	D_{NS}	S_{NS}	R_{NS}

其他如键槽、矩形、均布孔等基本图形也可按同样方法进行修改。

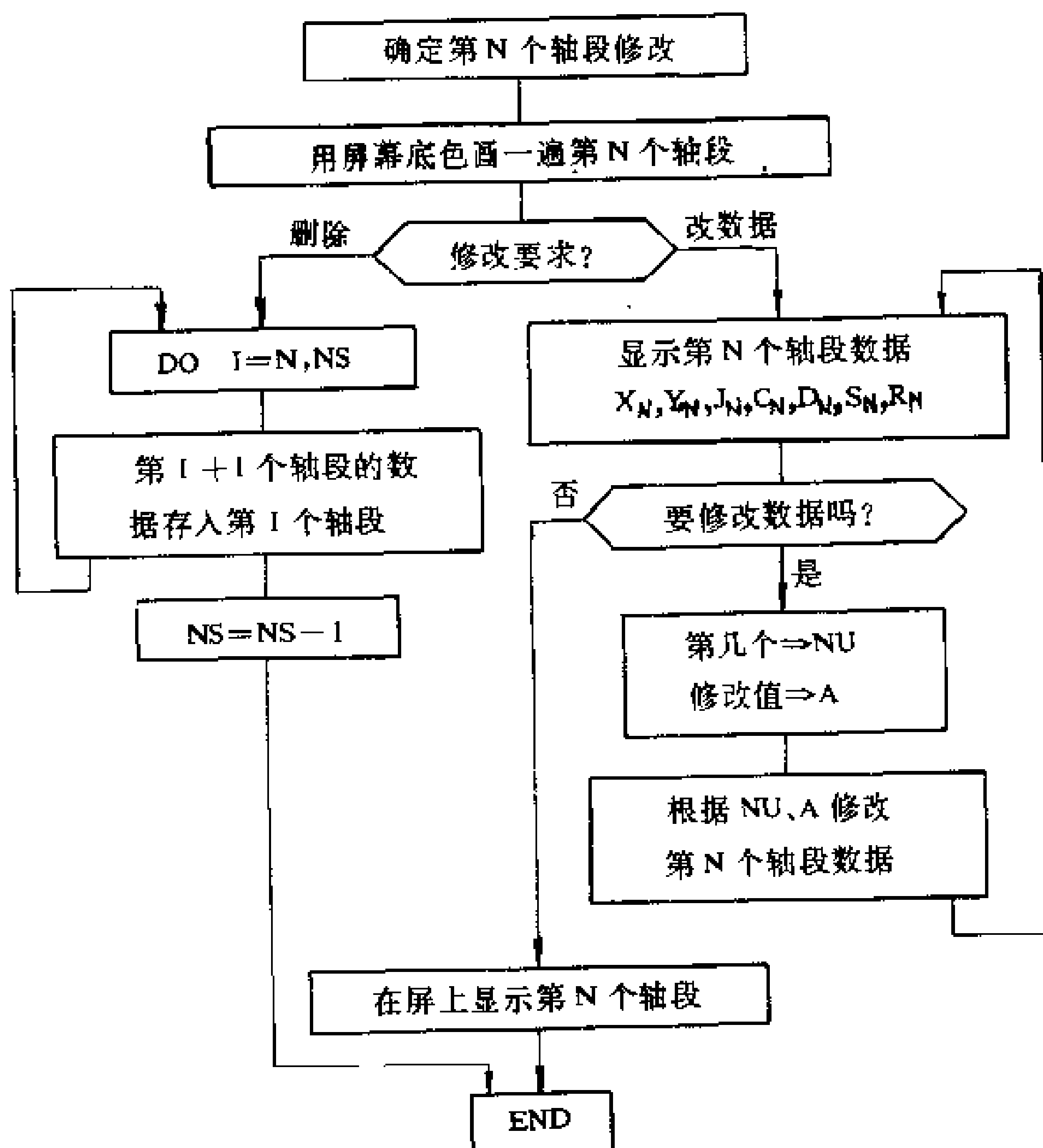


图 12-91　修改第N个轴段的框图

思 考 问 题

12.1　简述计算机绘图的发展与应用。

12.2　简述计算机绘图的学习内容与学习方法。

12.3　计算机绘图的设备有哪些?简述它们的功能。

12.4　简述计算机绘图的基本要求和规定。

12.5　基本功能及基本图形元素子程序的调用方法;轮廓识别与剖面线处理子程序的调用方法。

12.6　简述二维图形的形状特点;基本图形程序设计方法;零件视图的程序设计方法;装配图程序设计方法。

12.7　标注子程序中信息输入的方法;标注子程序的调用方法;图形档案存取程序的基本功能。

12.8　简述交互式计算机绘图的基本概念;菜单技术和图形生成、修改的基本方法。

附　　录

1．标题栏和明细栏

（1）标题栏格式、大小（GB10609.1－89）

180

10　10　16　16　12　16

7

8×7（=56）

标记	处数	分　区	更改文件号	签　名	年、月、日
设　计	（签名）	（年月日）	标准化	（签名）	（年月日）
审　核					
工　艺			批　准		

12　12　16　12　12　16

（材料标记）

4×6.5（=26）　12　12

阶段标记	重　量	比　例

6.5

共　　张　第　　张

50

10　9　（9）

（单位名称）

（图样名称）

（图样代号）

20　18

（2）明细栏格式、大小（GB10609.2－89）

180

8　40　44　8　38　10　12　（20）

7　14

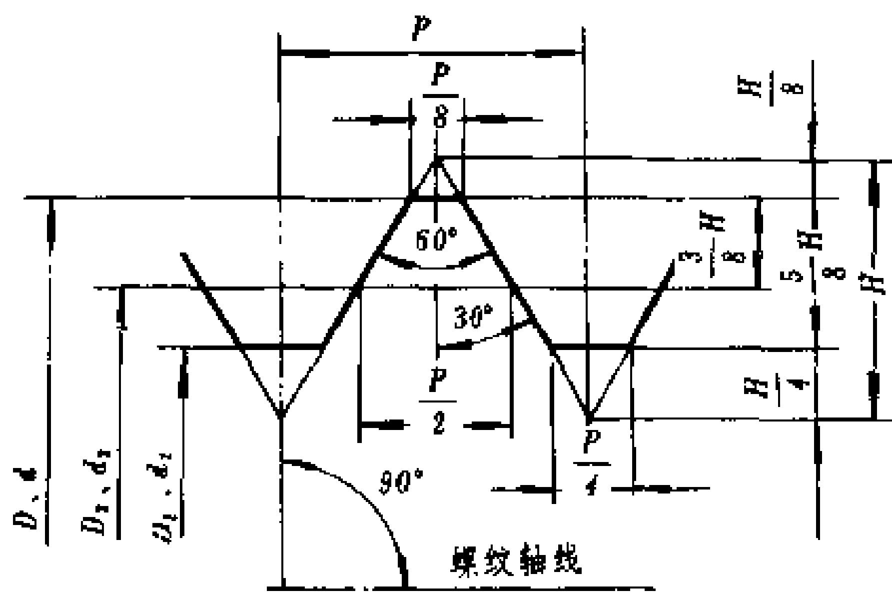
序号	代　　号	名　　称	数量	材　　料	单件	总计	备　注
					重　量		

7

（标题栏）

2. 螺纹

表 1　普通螺纹的基本牙型和基本尺寸(GB192 — 81,GB196 — 81)



$$H=\frac{\sqrt{3}}{2}P$$

$$D_2=D-2\times\frac{3}{8}H=D-0.6495P$$

$$d_2=d-2\times\frac{3}{8}H=d-0.6495P$$

$$D_1=D-2\times\frac{5}{8}H=D-1.0825P$$

$$d_1=d-2\times\frac{5}{8}H=d-1.0825P$$

标记示例

右旋粗牙普通螺纹,直径为 24mm,螺距 3mm 的标记:M24

左旋细牙普通螺纹,直径为 24mm,螺距 2mm 的标记:M24 × 2LH

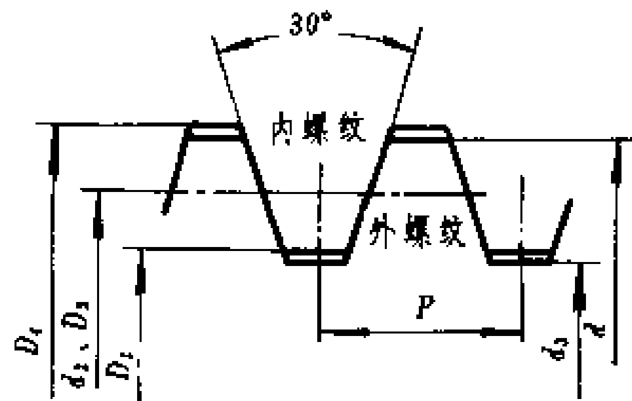
mm

公称直径 D 或 d 第一系列	第二系列	螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
4		(0.7) 0.5	3.545 3.675	3.242 3.459
	4.5	(0.75)	4.175	3.959
5		(0.8) 0.5	4.480 4.675	4.134 4.459
6		(1) 0.75	5.350 5.513	4.917 5.188
8		(1.25) 1 0.75	7.188 7.350 7.513	6.647 6.917 7.188
10		(1.5) 1.25 1 0.75	9.026 9.188 9.350 9.513	8.376 8.647 8.917 9.188
12		(1.75) 1.5 1.25 1	10.863 11.026 11.188 11.350	10.106 10.376 10.647 10.917
	14	(2) 1.5 1	12.701 13.026 13.350	11.835 12.376 12.917
16		(2) 1.5 1	14.701 15.026 15.350	13.835 14.376 14.917

公称直径 D 或 d 第一系列	第二系列	螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
	18	(2.5) 2 1.5 1	16.376 16.701 17.026 17.350	15.294 15.835 16.376 16.917
20		(2.5) 2 1.5 1	18.376 18.701 19.026 19.350	17.294 17.835 18.376 18.917
	22	(2.5) 2 1.5 1	20.376 20.701 21.026 21.350	19.294 19.835 20.376 20.917
24		(3) 2 1.5 1	22.051 22.701 23.026 23.350	20.752 21.835 22.376 22.917
	27	(3) 2 1.5 1	25.051 25.701 26.026 26.350	23.752 24.835 25.376 25.917
30		(3.5) 2 1.5 1	27.727 28.701 29.026 29.350	26.211 27.835 28.376 28.917
	33	(3.5) 2 1.5	30.727 31.701 32.026	29.211 30.835 31.376

注:表中有括号的螺距数值为粗牙螺距。

表 2　梯形螺纹基本尺寸(GB5796.3 — 86)



标记示例

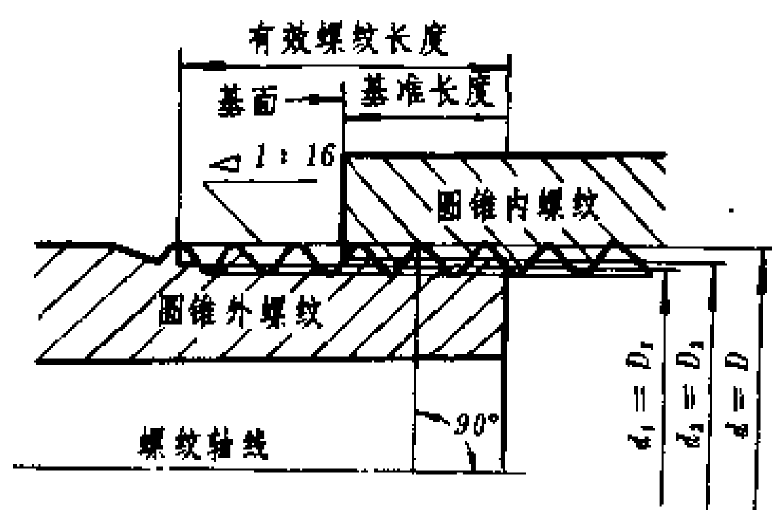
1. 公称直径 $d = 40$mm、螺距 $P = 7$mm、中径公差带为 7H 的左旋梯形螺纹：
   Tr40 × 7LH — 7H
2. 公称直径 $d = 40$mm、螺距 $P = 7$mm、中径公差带为 7e 的右旋双线梯形螺纹：
   Tr40 × 14(P7) — 7e

mm

公称直径 d（外螺纹大径）第一系列	第二系列	螺距 P	外螺纹小径 d_3	外、内螺纹中径 d_2、D_2	内螺纹 大径 D_4	内螺纹 小径 D_1
10		1.5	8.2	9.25	10.3	8.5
		2	7.5	9.00	10.5	8.0
	11	2	8.5	10.0	11.5	9.0
		3	7.5	9.5		8.0
12		2	9.5	11.0	12.5	10.0
		3	8.5	10.5		9.0
	14	2	11.5	13.0	14.5	12.0
		3	10.5	12.5		11.0
16		2	13.5	15.0	16.5	14.0
		4	11.5	14.0		12.0
	18	2	15.5	17.0	18.5	16.0
		4	13.5	16.0		14.0
20		2	17.5	19.0	20.5	18.0
		4	15.5	18.0		16.0
	22	3	18.5	20.5	22.5	19.0
		5	16.5	19.5	22.5	17.0
		8	13.0	18.0	23.0	14.0
24		3	20.5	22.5	24.5	21.0
		5	18.5	21.5	24.5	19.0
		8	15.0	20.0	25.0	16.0
	26	3	22.5	24.5	26.5	23.0
		5	20.5	23.5	26.5	21.0
		8	17.0	22.0	27.0	18.0
28		3	24.5	26.5	28.5	25.0
		5	22.5	25.5	28.5	23.0
		8	19.0	24.0	29.0	20.0
	30	3	26.5	28.5	30.5	27.0
		6	23.0	27.0	31.0	24.0
		10	19.0	25.0	31.0	20.0

公称直径 d（外螺纹大径）第一系列	第二系列	螺距 P	外螺纹小径 d_3	外、内螺纹中径 d_2、D_2	内螺纹 大径 D_4	内螺纹 小径 D_1
32		3	28.5	30.5	32.5	29.0
		6	25.0	29.0	33.0	26.0
		10	21.0	27.0	33.0	22.0
	34	3	30.5	32.5	34.5	31.0
		6	27.0	31.0	35.0	28.0
		10	23.0	29.0	35.0	24.0
36		3	32.5	34.5	36.5	33.0
		6	29.0	33.0	37.0	30.0
		10	25.0	31.0	37.0	26.0
	38	3	34.5	36.5	38.5	35.0
		7	30.0	34.5	39.0	31.0
		10	27.0	33.0	39.0	28.0
40		3	36.5	38.5	40.5	37.0
		7	32.0	36.5	41.0	33.0
		10	29.0	35.0	41.0	30.0
	42	3	38.5	40.5	42.5	39.0
		7	34.0	38.5	43.0	35.0
		10	31.0	37.0	43.0	32.0
44		3	40.5	42.5	44.5	41.0
		7	36.0	40.5	45.0	37.0
		12	31.0	38.0	45.0	32.0
	46	3	42.5	44.5	46.5	43.0
		8	37.0	42.0	47.0	38.0
		12	33.0	40.0	47.0	34.0
48		3	44.5	46.5	48.5	45.0
		8	39.0	44.0	49.0	40.0
		12	35.0	42.0	49.0	36.0

表 3　用螺纹密封的管螺纹(GB7306—87)



标记示例

1. 尺寸代号为 $1\frac{1}{2}$ 的右旋圆锥内螺纹：

$Rc1\frac{1}{2}$

2. 尺寸代号为 $1\frac{1}{2}$ 的左旋圆锥外螺纹：

$R1\frac{1}{2}-LH$

3. 尺寸代号为 $1\frac{1}{2}$ 的右旋圆柱内螺纹：

$Rp1\frac{1}{2}$

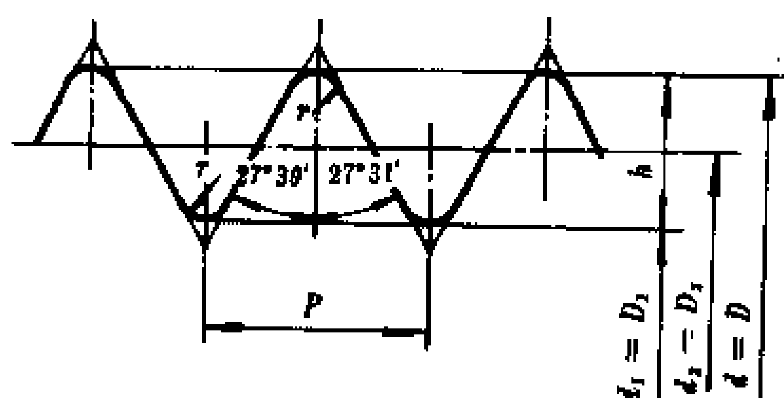
mm

尺寸代号	每25.4 mm内的牙数 n	螺距 P	牙高 h	圆弧半径 $r \approx$	基面上的直径			基准距离	有效螺纹长度
					大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$		
1/16	28	0.907	0.581	0.125	7.723	7.142	6.561	4.0	6.5
1/8					9.728	9.147	8.566		
1/4	19	1.337	0.856	0.184	13.157	12.301	11.445	6.0	9.7
3/8					16.662	15.806	14.950	6.4	10.1
1/2	14	1.814	1.162	0.249	20.955	19.793	18.631	8.2	13.2
3/4					26.441	25.279	24.117	9.5	14.5
1	11	2.309	1.479	0.317	33.249	31.770	30.291	10.4	16.8
$1\frac{1}{4}$					41.910	40.431	38.952	12.7	19.1
$1\frac{1}{2}$					47.803	46.324	44.845		
2					59.614	58.135	56.656	15.9	23.4
$2\frac{1}{2}$					75.184	73.705	72.226	17.5	26.7
3					87.884	86.405	84.926	20.6	29.8
$3\frac{1}{2}$					100.330	98.851	97.372	22.2	31.4

注：1. 本标准包括了圆锥内螺纹与圆锥外螺纹和圆柱内螺纹与圆锥外螺纹两种联结形式，适用于管子、管接头、旋塞、阀门和其他螺纹联结的附件。

2. 尺寸代号为 $3\frac{1}{2}$ 的螺纹，限用于蒸汽机车。

表 4 非螺纹密封的管螺纹(GB7307 — 87)



标记示例

1. 尺寸代号为 $1\frac{1}{2}$ 的右旋内螺纹：

   $G1\frac{1}{2}$

2. 尺寸代号为 $1\frac{1}{2}$ 的用于低压管路的右旋内螺纹：

   $G1\frac{1}{2}D$

尺寸代号为 $1\frac{1}{2}$ 的右旋 A 级外螺纹：

   $G1\frac{1}{2}A$

4. 尺寸代号为 $1\frac{1}{2}$ 的左旋 B 级外螺纹：

   $G1\frac{1}{2}B-LH$

mm

尺寸代号	每 25.4mm 内的牙数 n	螺距 P	牙高 h	圆弧半径 $r\approx$	大径 $d=D$	中径 $d_2=D_2$	小径 $d_1=D_1$
1/16	28	0.907	0.581	0.125	7.723	7.142	6.561
1/8					9.728	9.147	8.566
1/4	19	1.337	0.856	0.184	13.157	12.301	11.445
3/8					16.662	15.806	14.950
1/2	14	1.814	1.162	0.249	20.955	19.793	18.631
5/8					22.911	21.749	20.587
3/4					26.441	25.279	24.117
7/8					30.201	29.039	27.877
1	11	2.309	1.479	0.317	33.249	31.770	30.291
$1\frac{1}{8}$					37.897	36.418	34.939
$1\frac{1}{4}$					41.910	40.431	38.952
$1\frac{1}{2}$					47.807	46.324	44.845
$1\frac{3}{4}$					53.746	52.267	50.788
2					59.614	58.135	56.656
$2\frac{1}{4}$					65.710	64.231	62.752
$2\frac{1}{2}$					75.184	73.705	72.226
$2\frac{3}{4}$					81.534	80.055	78.576
3					87.884	86.405	84.926
$3\frac{1}{2}$					100.330	98.851	97.372
4					113.030	111.551	110.072

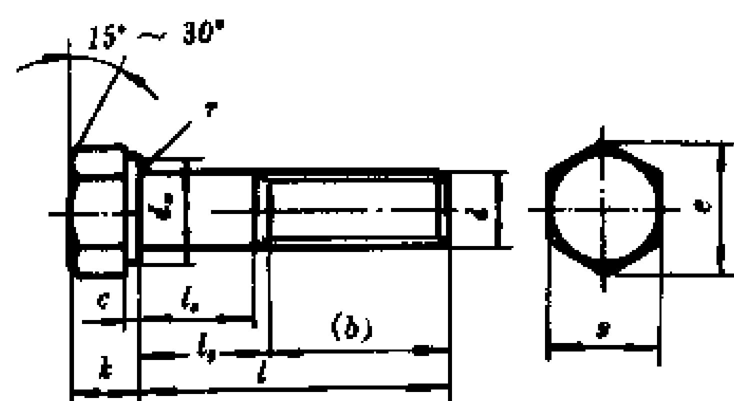
注：1. 本标准的圆柱管螺纹适用于管接头、旋塞、阀门及其他附件；

2. 内螺纹中径只规定一种公差带，不用代号表示。推荐用于低压水、煤气等管路的内螺纹，中径公差等级代号用 D；

3. 外螺纹中径公差分 A 和 B 两个等级。

表 5　六角头螺栓

C 级(GB5780－86)、*A* 和 *B* 级(GB5782－86)、细牙－*A* 和 *B* 级(GB5785－86)



标记示例

螺纹规格 d＝M12，公称长度 l＝80mm，性能等级为 8.8，表面氧化、*A* 级的六角头螺栓：

螺栓　GB5782－86　M12×80

mm

螺纹规格		M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30
螺纹规格	d	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30
螺纹规格	$d \times P$			M8×1	M10×1	M12×1.5	M16×1.5	M20×2	M24×2	M30×2
b 参考	$l \leqslant 125$	16	18	22	26	30	38	46	50	66
b 参考	$125 < l \leqslant 200$			28	32	36	44	52	60	72
b 参考	$l > 200$						57	65	73	85
c_{max}		0.5		0.6			0.8			
$d_{w\,min}$ 产品等级	*A*	6.9	8.9	11.6	14.6	16.6	22.5	28.2	33.6	
$d_{w\,min}$ 产品等级	*B*、*C*	6.7	8.7	11.4	14.4	16.4	22	27.7	33.2	42.7
k 公称		3.5	4	5.3	6.4	7.5	10	12.5	15	18.7
r_{min}		0.2	0.25	0.4		0.6		0.8		1
e_{min} 产品等级	*A*	8.79	11.5	14.38	17.77	20.03	26.75	33.53	39.98	
e_{min} 产品等级	*B*、*C*	8.63	10.89	14.20	17.59	19.85	26.17	32.95	39.55	50.85
s_{max}＝公称		8	10	13	16	18	24	30	36	46
l 公称 商品规格范围		25～50	30～60	35～80	40～100	45～120	55～160	65～200	80～240	90～300

l 系列：25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、80、90、100、110、120、130、140、150、160、180、200、220、240、260、280、300

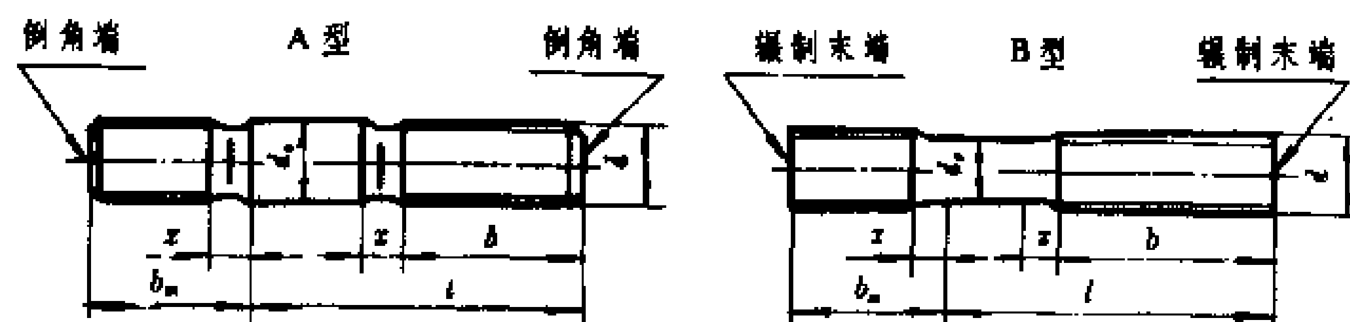
注：1. $l_{公称}$ 在商品规格范围内，夹紧长度 $l_g(max)=l-b_{参考}$，光杆长度 $l_s(min)=l_g(max)-5P$（P 为粗牙螺距）。

2. 商品等级：*A* 用于 $d \leqslant 24$mm 和 $l \leqslant 10d$ 或 ≤150mm 的螺栓；

B 用于 $d > 24$mm 和 $l > 10d$ 或 >150mm 的螺栓。

表 6　双头螺柱(GB897 ～ 900 － 88)

b_m = 1d(GB897 — 88)、b_m = 1.25d(GB898 — 88)、b_m = 1.5d(GB899 — 88)、b_m = 2d(GB900 — 88)



$x = 1.5p$　　$d_s \approx$ 螺纹中径(仅适合于 B 型)

标记示例

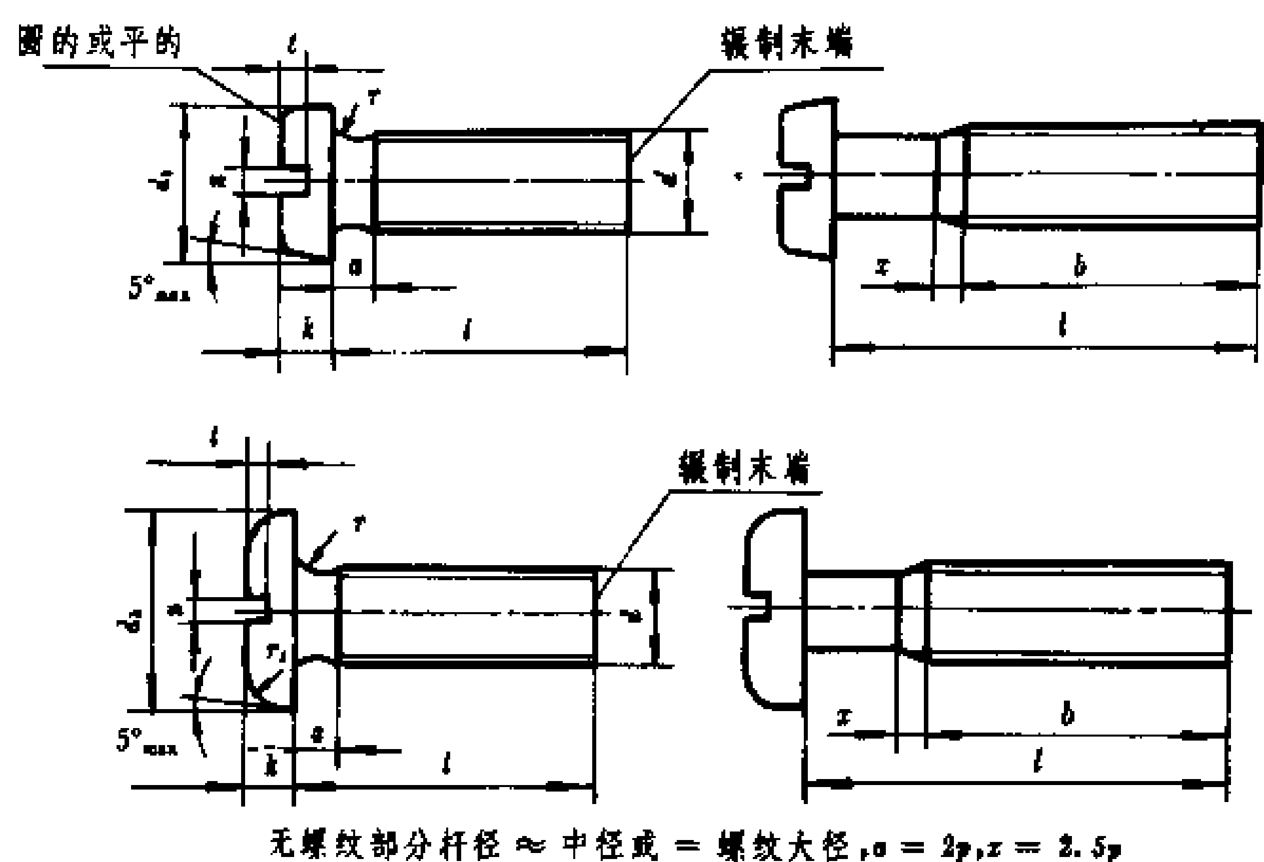
1. 两端均为粗牙普通螺纹，d = 10mm，l = 50mm，性能等级为 4.8 级，不经表面处理、B 型、b_m = 1.5d 的双头螺柱：螺柱 GB899 － 88　M10 × 50
2. 旋入机件一端为粗牙普通螺纹、旋螺母一端为螺距 P = 1mm 细牙普通螺纹、d = 10mm、l = 50mm，性能等级为 4.8 级，不经表面处理，A 型、b_m = 1d 的双头螺柱：螺柱 GB897 － 88 AM10 － M10 × 1 × 50

mm

螺纹规格 d	b_m(公称)				l/b	
	GB 897	GB 898	GB 899	GB 900	GB897、GB898、GB899	GB900
M5	5	6	8	10	$\frac{16\sim20}{10}$、$\frac{25\sim50}{16}$	$\frac{16\sim20}{10}$、$\frac{25\sim45}{16}$
M6	6	8	10	12	$\frac{20}{10}$、$\frac{25\sim30}{14}$、$\frac{35\sim70}{18}$	$\frac{20}{10}$、$\frac{25}{14}$、$\frac{30\sim70}{18}$
M8	8	10	12	16	$\frac{20}{12}$、$\frac{25\sim30}{16}$、$\frac{35\sim90}{22}$	$\frac{20}{12}$、$\frac{25}{16}$、$\frac{30\sim100}{22}$
M10	10	12	15	20	$\frac{25}{14}$、$\frac{30\sim35}{16}$、$\frac{40\sim120}{26}$、$\frac{130}{32}$	$\frac{25}{14}$、$\frac{30}{16}$、$\frac{35\sim110}{26}$、$\frac{120\sim130}{32}$
M12	12	15	18	24	$\frac{25\sim30}{16}$、$\frac{35\sim40}{20}$、$\frac{45\sim120}{30}$、$\frac{130\sim180}{36}$	$\frac{25}{16}$、$\frac{30\sim35}{20}$、$\frac{40\sim110}{30}$、$\frac{120\sim170}{36}$
M16	16	20	24	32	$\frac{30\sim35}{20}$、$\frac{40\sim50}{30}$、$\frac{60\sim120}{38}$、$\frac{130\sim200}{44}$	$\frac{32}{20}$、$\frac{35\sim45}{30}$、$\frac{50\sim110}{38}$、$\frac{120\sim200}{44}$
M20	20	25	30	40	$\frac{35\sim40}{25}$、$\frac{45\sim60}{35}$、$\frac{70\sim120}{46}$、$\frac{130\sim200}{52}$	$\frac{35\sim40}{25}$、$\frac{45\sim60}{35}$、$\frac{70\sim120}{46}$、$\frac{130\sim200}{52}$
M24	24	30	36	48	$\frac{45\sim50}{30}$、$\frac{60\sim70}{45}$、$\frac{80\sim120}{54}$、$\frac{130\sim200}{60}$	$\frac{45\sim50}{30}$、$\frac{60\sim70}{45}$、$\frac{80\sim120}{54}$、$\frac{130\sim200}{60}$
M30	30	38	45	60	$\frac{60}{40}$、$\frac{70\sim90}{50}$、$\frac{100\sim120}{66}$、$\frac{130\sim200}{72}$、$\frac{210\sim250}{85}$	$\frac{50}{40}$、$\frac{60\sim80}{50}$、$\frac{90\sim120}{66}$、$\frac{130\sim200}{72}$、$\frac{210\sim250}{85}$
M36	36	45	54	72	$\frac{70}{45}$、$\frac{80\sim110}{60}$、$\frac{120}{78}$、$\frac{130\sim200}{81}$、$\frac{210\sim300}{97}$	$\frac{60}{45}$、$\frac{70\sim110}{60}$、$\frac{120}{78}$、$\frac{130\sim200}{81}$、$\frac{210\sim300}{97}$

l(系列)：16、20、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、100、110、120、130、140、150、160、170、180、190、200、210、220、230、240、250、260、280、300

表 7　开槽圆柱头螺钉(GB65 — 85),开槽盘头螺钉(GB67 — 85)



无螺纹部分杆径 ≈ 中径或 = 螺纹大径,$a = 2p, x = 2.5p$

标记示例

1. 螺纹规格 $d = M5$,公称长度 $l = 20$mm、性能等级 4.8,不经表面处理的开槽圆柱头螺钉:
   螺钉 GB65 — 85　$M5 \times 20$
2. 螺纹规格 $d = M5$、公称长度 $l = 20$mm、性能等级 4.8,不经表面处理的开槽盘头螺钉:
   螺钉 GB67 — 85　$M5 \times 20$

mm

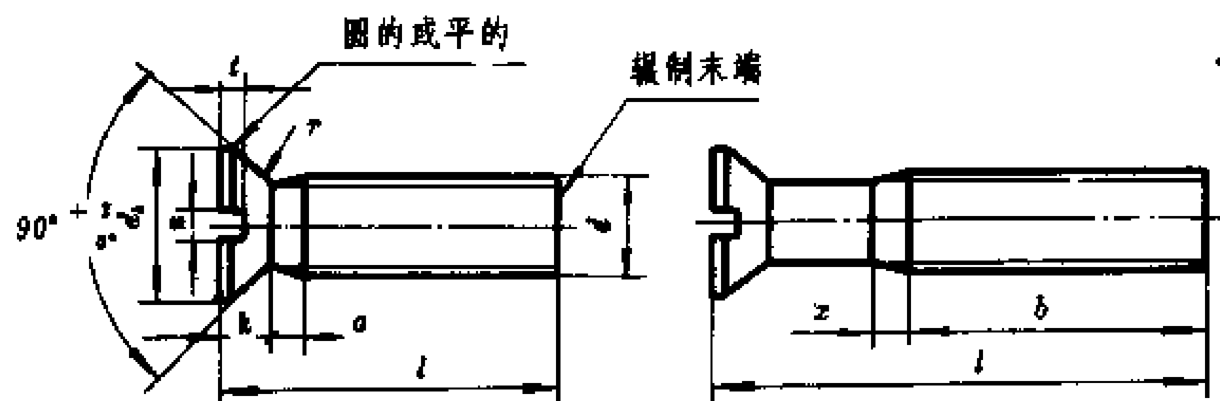
螺纹规格 d	P	b min	a 公称	r min	l 公称	GB65 — 85			GB67 — 85			
						d_k max	k max	t min	d_k max	k max	t min	r_f 参考
M3	0.5	25	0.8	0.1	4 ~ 30				5.6	1.8	0.7	0.9
M4	0.7	38	1.2	0.2	5 ~ 40	7	2.6	1.1	8	2.4	1	1.2
M5	0.8	38	1.2	0.2	6 ~ 50	8.5	3.3	1.3	9.5	3	1.2	1.5
M6	1	38	1.6	0.25	8 ~ 60	10	3.9	1.6	12	3.6	1.4	1.8
M8	1.25	38	2	0.4	10 ~ 80	13	5	2	16	4.8	1.9	2.4
M10	1.5	38	2.5	0.4	12 ~ 80	16	6	2.4	20	6	2.4	3

注:1. 长度 l 系列:4、5、6、8、10、12、(14)、16、20、25、30、35、40、45、50、(55)、60、(65)、70、(75)、80,有括号的尽可能不采用。

2. 公称长度 $l \leqslant 40$mm 的螺钉和 $M3$,$l \leqslant 30$mm 的螺钉,制出全螺纹($b = l - a$)。

3. P——螺距。

表 8　开槽沉头螺钉(GB68 — 85)



无螺纹部分杆径 ≈ 中径或 = 螺纹大径，$a = 2p$，$x = 2.5p$

无螺纹部分杆径 ≈ 中径或 = 螺纹大径，$a = 2p$，$x = 2.5p$

标记示例

螺纹规格 $d = M5$、公称长度 $l = 20$mm、性能等级为 4.8、不经表面处理的开槽沉头螺钉：

螺钉 GB68 — 85　$M5 \times 20$

mm

螺纹规格 d		$M3$	$M4$	$M5$	$M6$	$M8$	$M10$
P		0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5
b min		25	38				
d_k 理论值 max		6.3	9.4	10.4	12.6	17.3	20
k max		1.65	2.7		3.3	4.65	5
n 公称		0.8	1.2		1.6	2	2.5
r max		0.8	1	1.3	1.5	2	2.5
t	max	0.85	1.3	1.4	1.6	2.3	2.6
	min	0.6	1.0	1.1	1.2	1.8	2.0
l		5 ~ 30	6 ~ 40	8 ~ 50	8 ~ 60	10 ~ 80	12 ~ 80

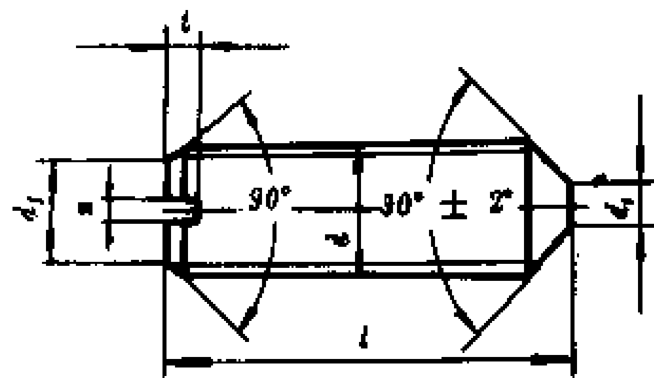
l(系列)：5 ± 0.3，6 ± 0.3，8 ± 0.3，10 ± 0.3，12 ± 0.4，(14 ± 0.4)，16 ± 0.4，20 ± 0.4，25 ± 0.4，30 ± 0.4，35 ± 0.5，40 ± 0.5，50 ± 0.5，(55 ± 0.6)，60 ± 0.6，(65 ± 0.6)，70 ± 0.6，(75 ± 0.6)，80 ± 0.6

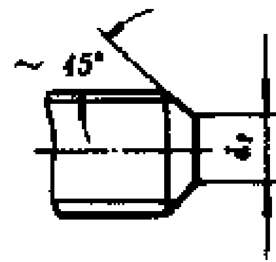
注：1. l 系列中有括号的尽可能不采用。

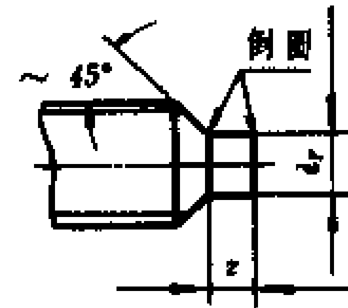
2. 公称长度 $l \leqslant 45$mm 的螺钉和 $M3$、$l \leqslant 30$mm 的螺钉，制出全螺纹[$b = l - (k + a)$]。

3. P — 螺距。

表 9　紧定螺钉(GB71 — 85、GB73 — 85、GB75 — 85)


GB71 — 85


GB73 — 85


GB75 — 85

标记示例

螺纹规格 $d = M5$、公称长度 $l = 12$mm、性能等级为 14H 级、表面氧化的开槽锥端紧定螺钉：

螺钉 GB71 — 85　$M5 \times 12$

mm

螺纹规格 d	d_f	n	t		d_t	d_p		z		l		
		公称	min	max	max	min	max	min	max	GB71 — 85	GB73 — 85	GB75 — 85
$M3$	螺纹小径	0.4	0.8	1.05	0.3	1.75	2	1.5	1.75	4 ~ 16	3 ~ 16	5 ~ 16
$M4$		0.6	1.12	1.42	0.4	2.25	2.5	2	2.25	6 ~ 20	4 ~ 20	6 ~ 20
$M5$		0.8	1.28	1.63	0.5	3.2	3.5	2.5	2.75	8 ~ 25	5 ~ 25	8 ~ 25
$M6$		1	1.6	2	1.5	3.7	4	3	3.25	8 ~ 30	6 ~ 30	8 ~ 30
$M8$		1.2	2.5	2	2	5.2	5.5	4	4.3	10 ~ 40	8 ~ 40	10 ~ 40
$M10$		1.6	2.4	3	2.5	6.64	7	5	5.3	12 ~ 50	10 ~ 50	12 ~ 50
$M12$		2	2.8	3.6	3	8.14	8.5	6	6.3	16 ~ 60	12 ~ 60	16 ~ 60

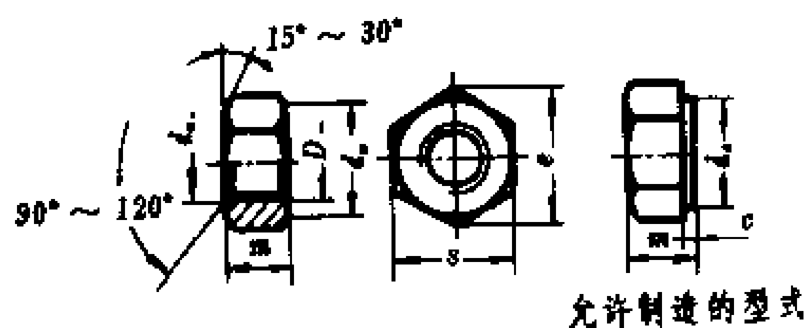
l(系列)：3 ± 0.2，4 ± 0.3，5 ± 0.3，6 ± 0.3，8 ± 0.3，10 ± 0.3，12 ± 0.4，16 ± 0.4，20 ± 0.4，25 ± 0.4，30 ± 0.4，35 ± 0.5，40 ± 0.5，45 ± 0.5，50 ± 0.5，60 ± 0.6

注：1. 公称长度小于表中最小长度的短螺钉，倒角和锥端，应制成 120°。

2. ≤ $M5$ 的螺钉(GB71 — 85)，不要求锥端有平面部分，可以倒圆。

表 10　六角螺母 ——A 级和 B 级

1 型(GB6170 — 86)、1 型细牙(GB6171 — 86)、2 型(GB6175 — 86)、2 型细牙(GB6176 — 86)、薄螺母(GB6172 — 86)、薄螺母 —— 细牙(GB6173 — 86)、厚螺母(GB56 — 88)



允许制造的型式

标记示例

1. 螺纹规格 $D = M12$,性能等级为 10、不经表面处理、A 级 1 型六角螺母:

螺母 GB6170 — 86　M12

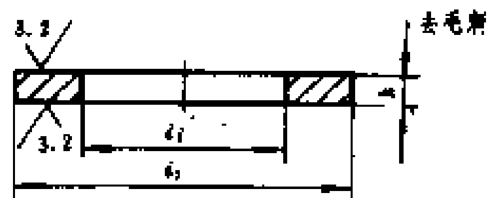
2. 螺纹规格 $D = M16 \times 1.5$、性能等级为 04 级、不经表面处理、A 级的六角薄螺母:

螺母 GB6173 — 86　M16 × 1.5

mm

螺纹规格	D	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30
	D × P			M8 × 1	M10 × 1	M12 × 1.5	M16 × 1.5	M20 × 2	M24 × 2	M30 × 2
c max		0.5		0.6			0.8			
d_a min		5	6	8	10	12	16	20	24	30
d_w min		6.9	8.9	11.6	14.6	16.6	22.5	27.7	33.2	42.7
e min		8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	26.75	32.95	39.55	50.85
s max		8	10	13	16	18	24	30	36	46
m max	GB6170 GB6171	4.7	5.2	6.8	8.4	10.8	14.8	18	21.5	25.6
	GB6175 GB6176	5.1	5.7	7.5	9.3	12	16.4	20.3	23.9	28.6
	GB6172 GB6173	2.7	3.2	4	5	6	8	10	12	15
	GB56 — 88						25	32	38	55

表 11 平垫圈 — A 级(GB97.1 — 85)



标记示例

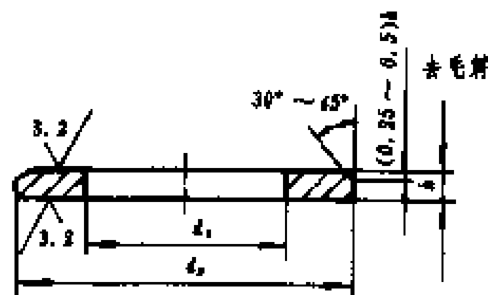
尺寸公称 d = 8mm、性能等级为 140HV 级平垫圈：

垫圈 GB97.1 — 85 8 — 140HV

mm

公称尺寸 (螺纹规格 d)	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30	36
内径 公称(min)d_1	1.7	2.2	2.7	3.2	4.3	5.3	6.4	8.4	10.5	13	15	17	21	25	31	37
外径 公称(max)d_2	4	5	6	7	9	10	12	16	20	24	28	30	37	44	56	66
厚度 公称 h	0.3	0.3	0.5	0.5	0.8	1	1.6	1.6	2	2.5	2.5	3	3	4	4	5

表 12 平垫圈 倒角型 — A 级(GB97.2 — 85)



标记示例

公称尺寸 d = 8mm、性能等级为 140HV 级、倒角型平垫圈：

垫圈 GB97.2 — 86 8 — 140HV

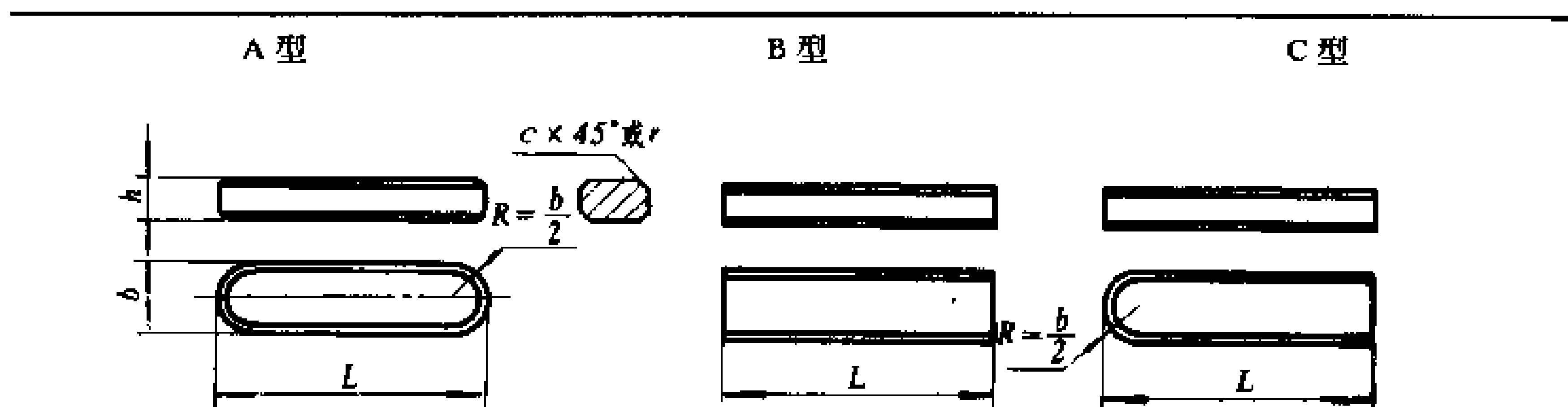
mm

公称尺寸 (螺纹规格 d)	5	6	8	10	12	14	16	20	24	30	36
内径 公称(min)d_1	5.3	6.4	8.4	10.5	13	15	17	21	25	31	37
外径 公称(max)d_2	10	12	16	20	24	28	30	37	44	56	66
厚度 公称 h	1	1.6	1.6	2	2.5	2.5	3	3	4	4	5

4. 键

表 13　普通平键　型式尺寸(GB1096 — 79)

(1990 年确认有效)



标记示例

圆头普通平键 *A* 型;*b* = 18mm、*h* = 11mm、*L* = 100mm:键　18 × 100　GB1096 — 79

方头普通平键 *B* 型;*b* = 18mm、*h* = 11mm、*L* = 100mm:键　*B*18 × 100　GB1096 — 79

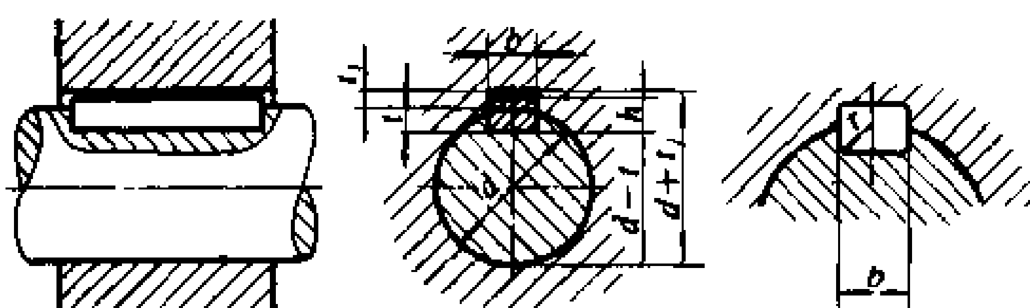
单圆头普通平键 *C* 型;*b* = 18mm、*h* = 11mm、*L* = 100mm:键　*C*18 × 100　GB1096 — 79

mm

b	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25
h	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	14	14
c 或 *r*	0.16 — 0.25			0.25 — 0.4			0.40 — 0.60					0.60 — 0.80		
L	6-20	6-36	8-45	10-56	14-70	18-90	22-110	28-140	36-160	45-180	50-200	56-220	63-250	70-280
L 系列	6、8、10、12、14、18、20、22、25、28、32、36、40、45、50、56、63、70、80、90、100、110、125、140、160、180、200、220、250、280													

表 14　平键　键和键槽的剖面尺寸(GB1095 — 79)

(1990 年确认有效)



mm

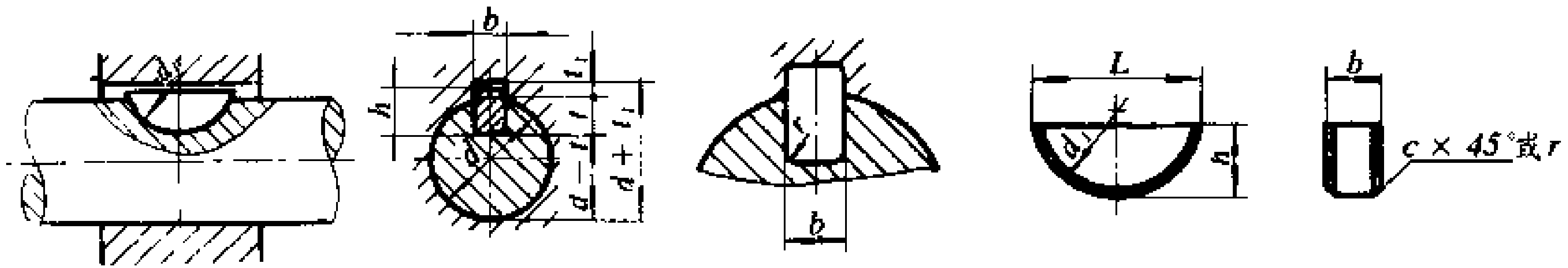
轴	键	键槽											
公称直径 d	公称尺寸 $b\times h$	宽度 b						深度				半径 r	
		公称尺寸 b	极限偏差					轴 t		毂 t_1			
			较松键联结		一般键联结		较紧键联结	公称尺寸	极限偏差	公称尺寸	极限偏差	最小	最大
			轴 $H9$	毂 $D10$	轴 $N9$	毂 $Js9$	轴和毂 $P6$						
自 6～8	2×2	2	−0.025 0	+0.060 +0.020	−0.004 −0.029	±0.0125	−0.006 −0.031	1.2	+0.1 0	1	+0.1 0	0.08	0.16
>8～10	3×3	3						1.8		1.4			
>10～12	4×4	4	+0.030 0	+0.078 +0.030	0 −0.030	±0.015	−0.012 −0.042	2.5		1.8			
>12～17	5×5	5						3.0		2.3		0.16	0.25
>17～22	6×6	6						3.5		2.8			
>22～30	8×7	8	+0.036 0	+0.098 +0.040	0 −0.036	±0.018	−0.015 −0.051	4.0	+0.2 0	3.3	+0.2 0		
>30～38	10×8	10						5.0		3.3		0.25	0.40
>38～44	12×8	12	+0.043 0	+0.120 +0.050	0 −0.043	±0.0215	−0.018 −0.061	5.0		3.3			
>44～50	14×9	14						5.5		3.8			
>50～58	16×10	16						6.0		4.3			
>58～65	18×11	18						7.0		4.4			
>65～75	20×12	20	+0.052 0	+0.149 +0.065	0 −0.052	±0.026	−0.022 −0.074	7.5		4.9		0.40	0.60
>75～85	22×14	22						9.0		5.4			
>85～95	25×14	25						9.0		5.4			
>95～110	28×16	28						10.0		6.4			

注：$(d-t)$ 和 $(d+t_1)$ 两组合尺寸的极限偏差按相应的 t 和 t_1 的极限偏差选取，但 $(d-t)$ 极限偏差值应取负号(−)。

表 15　半圆键

键和键槽的剖面尺寸(GB1098 — 79)　　　　键的型式和尺寸(GB1099 — 79)

(1990 年确认有效)　　　　(1990 年确认有效)



标记示例

半圆键 b = 6mm，h = 10mm，d_1 = 25mm：键 6 × 25 GB1099 — 79

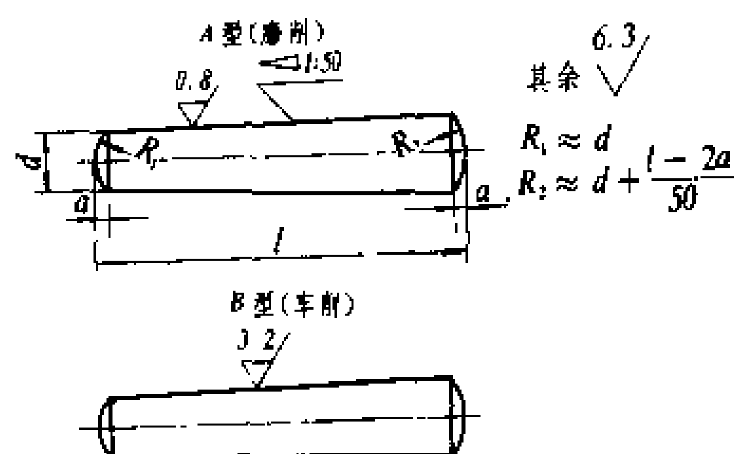
mm

轴径 d		键的公称尺寸								键　槽							
		键宽 b		高度 h		直径 d_1				槽宽 b(同键宽 b) 极限偏差			深　度				半径
键传递扭矩用	键定位用							L ≈	c	一般键联结		较紧键联结	轴 t		毂 t_1		r
		公称尺寸	偏差 $h9$	公称尺寸	偏差 $h11$	公称尺寸	偏差 ($h12$)			轴 $N9$	毂 $Js6$	轴和毂 $P9$	公称尺寸	极限偏差	公称尺寸	极限偏差	
自 3 ～ 4	自 3 ～ 4	1.0	0 −0.025	1.4	0 0.060	4	0 −0.120	3.9	0.16 ～ 0.25	−0.004 −0.029	±0.012	−0.006 −0.031	1.0	+0.1 0	0.6	+0.1 0	0.08 ～ 0.16
> 4 ～ 5	> 4 ～ 6	1.5		2.6		7	0 −0.150	6.8					2.0		0.8		
> 5 ～ 6	> 6 ～ 8	2.0		2.6		7		6.8					1.8		1.0		
> 6 ～ 7	> 8 ～ 10	2.0		3.7	0 −0.075	10		9.7					2.9		1.0		
> 7 ～ 8	> 10 ～ 12	2.5		3.7		10		9.7					2.7		1.2		
> 8 ～ 10	> 12 ～ 15	3.0		5.0		13	0 −0.180	12.7					3.8	+0.2 0	1.4		
> 10 ～ 12	> 15 ～ 18	3.0		6.5	0 −0.090	16		15.7					5.3		1.4		0.16 ～ 0.25
> 12 ～ 14	> 18 ～ 20	4.0	0 −0.030	6.5		16		15.7	0.25 ～ 0.40	0 −0.030	±0.015	−0.012 −0.042	5.0		1.8		
> 14 ～ 16	> 20 ～ 22	4.0		7.5		19	0 −0.210	18.6					6.0		1.8		
> 16 ～ 18	> 22 ～ 25	5.0		6.5		16	0 −0.180	15.7					4.5		2.3		
> 18 ～ 20	> 25 ～ 28	5.0		7.5		19	0 −0.210	18.6					5.5		2.3		
> 20 ～ 22	> 28 ～ 32	5.0		9.0		22		21.6					7.0		2.3		
> 22 ～ 25	> 32 ～ 36	6.0		9.0		22		21.6					6.5	+0.3 0	2.8		
> 25 ～ 28	> 36 ～ 40	6.0		10.0		25		24.5					7.5		2.8	+0.2 0	0.25 ～ 0.40
> 28 ～ 32	40	8.0	0 −0.036	11.0	0 −0.110	28		27.4	0.40 ～ 0.60	0 −0.036	±0.018	−0.015 −0.051	8.0		3.3		
> 32 ～ 38	—	10.0		13.0		32	0 −0.250	31.4					10.0		3.3		

注：$(d-t)$ 和 $(d+t_1)$ 两个组合尺寸的极限偏差按相应的 t 和 t_1 的极限偏差选取。但 $(d-t)$ 极限偏差值应取负号(—)。

5. 销

表 16　圆锥销(GB117 — 86)



标记示例

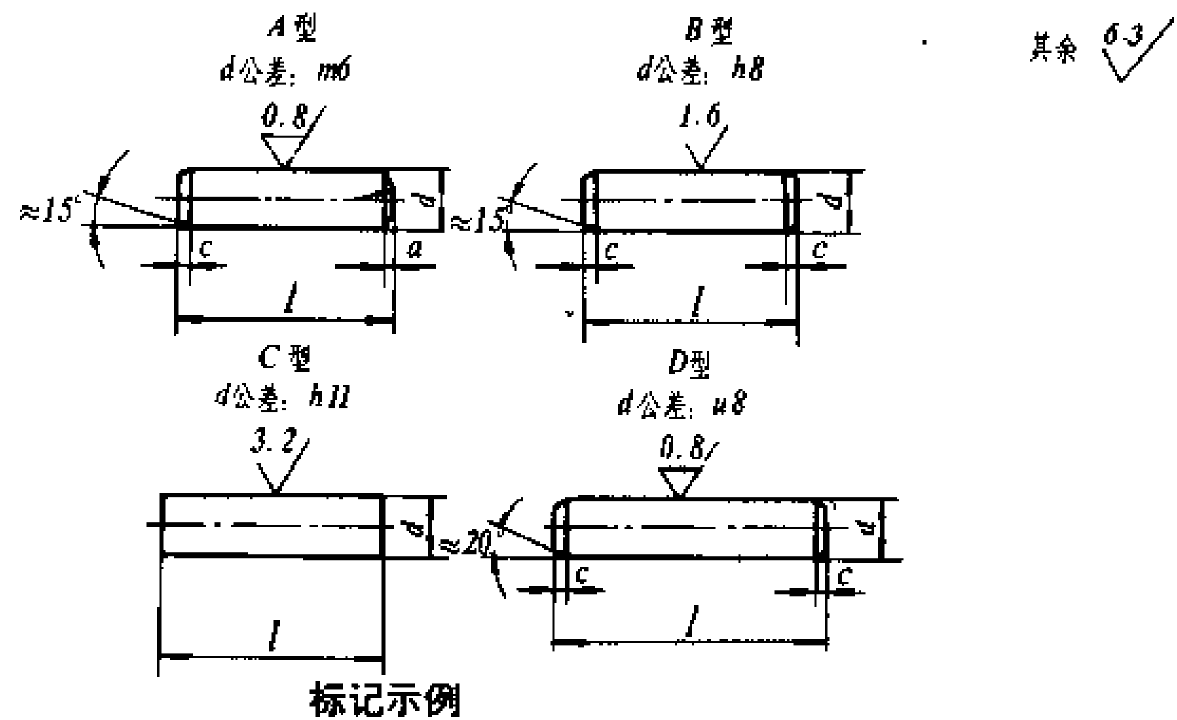
公称直径 $d = 10$mm、长度 $l = 60$mm、材料为 35、经热处理硬度 HRC28 — 38 和表面氧化处理的 A 型圆锥销的标记示例：

销 GB117 — 86　A10 × 60

mm

d	公称	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5
	min	0.56	.76	0.96	1.16	1.46	1.96	2.46	2.96	3.95	4.95
	max	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5
a	≈	0.08	0.1	0.12	0.16	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.63
l	公称	4 ~ 8	5 ~ 12	6 ~ 16	6 ~ 20	8 ~ 24	10 ~ 35	10 ~ 35	12 ~ 45	14 ~ 55	18 ~ 60
d	公称	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
	min	5.95	7.94	9.94	11.93	15.93	19.92	24.92	29.92	39.9	49.9
	max	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
a	≈	0.8	1	1.2	1.6	2	2.5	3	4	5	6.3
l	公称	22 ~ 90	22 ~ 120	26 ~ 160	32 ~ 180	40 ~ 200	45 ~ 200	50 ~ 200	55 ~ 200	60 ~ 200	65 ~ 200
长度 l 的系列	2、3、4、5、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、100、120、140、160、180、200。										

表 17　圆柱销(GB119 — 86)



标记示例

公称直径 d = 8mm、长度 l = 30mm、材料为 35 钢、热处理硬度 HRC28 — 38、表面氧化处理的 A 型圆柱销的标记示例：

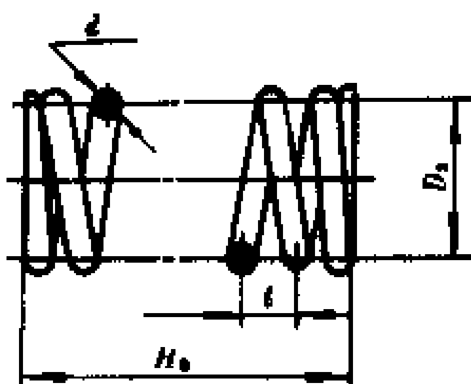
销 GB119 — 86　A8 × 30

mm

d	公称		0.6	0.8	1	1.2	1.5	3	2.5	3	4	5
	A 型	min	0.602	0.802	1.002	1.202	1.502	2.002	2.502	3.002	4.004	5.004
		max	0.608	0.808	1.008	1.208	1.508	2.008	2.508	3.008	4.012	5.012
	B 型	min	0.585	0.786	0.986	1.186	1.486	1.986	2.486	2.986	3.982	4.982
		max	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5
	C 型	min	0.54	0.74	0.94	1.14	1.44	1.94	2.44	2.94	3.925	4.925
		max	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5
	D 型	min	0.618	0.818	1.018	1.218	1.518	2.018	2.518	3.018	4.023	5.023
		max	0.632	0.832	1.032	1.232	1.532	2.032	2.532	3.032	4.041	5.041
a		≈	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.63
c		≈	0.12	0.16	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50	0.63	0.80
l		公称	2 ~ 6	2 ~ 8	4 ~ 10	4 ~ 14	4 ~ 16	6 ~ 20	6 ~ 24	8 ~ 30	8 ~ 40	10 ~ 50
d	公　称		6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
	A 型	min	6.004	8.006	10.006	12.007	16.007	20.008	25.008	30.008	40.009	50.009
		max	6.012	8.015	10.015	12.018	16.018	20.021	25.021	30.021	40.025	50.025
	B 型	min	5.982	7.978	9.978	11.973	15.973	19.967	24.967	29.967	39.961	49.961
		max	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
	C 型	min	5.925	7.91	9.91	11.89	15.89	19.87	24.87	29.87	39.84	49.84
		max	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
	D 型	min	6.023	8.028	10.028	12.033	16.033	20.041	25.048	30.048	40.060	50.07
		max	6.041	8.050	10.050	12.060	16.060	20.074	25.081	30.081	40.099	50.109
a		≈	0.80	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.3
c		≈	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.3	8.0
l		公称	12~60	14~80	18~95	22~140	26~180	35~200	50~200	60~200	80~200	95~200
长度 l 的系列			2、3、4、5、6、8、10、12、14、16、18、20、22、24、26、28、30、32、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、100、120、140、160、180、200。									

6. 弹簧

表 18　普通圆柱螺旋压缩弹簧(两端圈并紧磨平)尺寸和参数(GB2089 — 80)



标记示例

材料直径 d = 3mm、弹簧中径 D_2 = 20mm、自由高度 H_0 = 50mm、负荷、内径、自由高度及轴心线与两端圈垂直度精度为 3 级、材料为碳素弹簧钢丝 1 组、表面氧化处理的右旋弹簧：

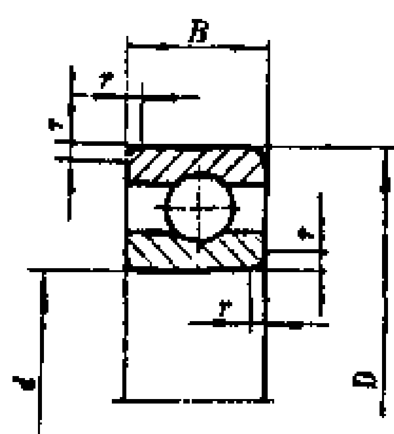
压簧 3 × 20 × 50　GB2089 — 80

mm

材料直径 d	弹簧中径 D_2	节距 ≈ t	最大极限负荷 P_j (N)	最大心轴直径 $D_x$max	最小套筒直径 $D_t$min	自由高度 H_0	有效圈数 n	弹簧刚度 P' (N/mm)	工作极限负荷下变形量 F_j	展开长度 L
1	8	3.44	42.5	6	10	25	6.5	3.01	14.1	214
	10	4.94	35.2	8	12	30	5.5	1.82	19.3	236
1.6	10	3.65	120	7.4	12.6	25	5.5	11.9	10.1	236
	14	5.87	91.1	10.4	17.6	42	6.5	3.67	24.8	374
2	16	6.28	149	12	20	32	4.5	8.68	17.2	327
						45	6.5	6.01	24.8	427
	20	8.92	123	15	25	55	5.5	3.64	34.0	471
						70	7.5	2.67	46.3	597
2.5	16	5.51	256	11.5	20.5	35	5.5	17.3	14.8	377
						45	7.5	12.7	20.1	478
	25	10.4	177	19.5	30.5	52	4.5	5.56	31.8	511
						85	7.5	3.33	53.1	746
3	20	6.95	357	14	26	38	4.5	22.5	15.9	408
						50	6.5	15.6	22.9	534
	30	12.5	255	24	36	75	5.5	5.46	46.7	707
						100	7.5	4.00	63.7	895
3.5	20	6.58	515	13.5	26.5	42	5.5	34.1	15.1	471
						55	7.5	25.0	20.6	597
	30	11	372	23.5	36.5	55	4.5	12.4	30.1	613
						100	8.5	6.54	56.8	990
4	25	8.15	607	18	32	45	4.5	36.4	16.7	511
						70	7.5	21.8	27.8	746
	35	12.3	461	27	43	65	4.5	13.3	34.8	715
						105	7.5	7.96	58.0	1045
4.5	30	9.52	682	22.5	37.5	60	5.5	27.6	24.7	707
						90	8.5	17.9	38.2	990
	40	13.9	538	41.5	48.5	70	4.5	14.2	37.8	917
						115	7.5	8.54	63.0	1138
5	30	9.42	914	22	38	60	5.5	42.1	21.7	707
						80	7.5	30.9	29.6	895
	35	11.2	809	26	44	60	4.5	32.4	25.0	715
						95	7.5	19.4	41.6	1045
	40	13.3	726	31	49	85	5.5	17.8	40.9	942
						110	7.5	13.0	55.7	1194
	50	18.5	600	41	50	130	6.5	7.69	78.0	1335
						220	10.5	4.76	126	1964

7. 滚动轴承

表 19 深沟球轴承(GB276 — 89)



0000型

标记示例

深沟球轴承、轻窄系列、内径为 25mm,G 级公差

滚动轴承 205 GB276 — 89

mm

特轻(1)系列					轻(2)窄系列					轻(3)窄系列				
轴承型号	尺寸				轴承型号	尺寸				轴承型号	尺寸			
	d	D	B	r_{smin}		d	D	B	r_{smin}		d	D	B	r_{smin}
100	10	26	8	0.3	200	10	30	9	0.6	300	10	35	11	0.6
101	12	28	8	0.3	201	12	32	10	0.6	301	12	37	12	1
102	15	32	9	0.3	202	15	35	11	0.6	302	15	42	13	1
103	17	35	10	0.3	203	17	40	12	0.6	303	17	47	14	1
104	20	42	12	0.6	204	20	47	14	1	304	20	52	15	1.1
105	25	47	12	0.6	205	25	52	15	1	305	25	62	17	1.1
106	30	55	13	1	206	30	62	16	1	306	30	72	19	1.1
107	35	62	14	1	207	35	72	17	1.1	307	35	80	21	1.5
108	40	68	15	1	208	40	80	18	1.1	308	40	90	23	1.5
109	45	75	16	1	209	45	85	19	1.1	309	45	100	25	1.5
110	50	80	16	1	210	50	90	20	1.1	310	50	110	27	2
111	55	90	18	1.1	211	55	100	21	1.5	重(4)窄系列				
112	60	95	18	1.1	212	60	110	22	1.5	403	17	62	17	1.1
113	65	100	18	1.1	213	65	120	23	1.5	404	20	72	19	1.1
114	70	110	20	1.1	214	70	125	24	1.5	405	25	80	21	1.5
115	75	115	20	1.1	215	75	130	25	1.5	406	30	90	23	1.5
116	80	125	22	1.1	216	80	140	26	2	407	35	100	25	1.5
117	85	130	22	1.1	217	85	150	28	2	408	40	110	27	2
118	90	140	24	1.5	218	90	160	30	2	409	45	120	29	2
119	95	145	24	1.5	219	95	170	32	2.1	410	50	130	31	2.1
120	100	150	24	1.5	220	100	180	34	2.1	411	55	140	33	2.1

8. 公差与配合

表 20　标准公差数值

基本尺寸 mm		公差等级																			
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
大于	至	μm													mm						
—	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.10	0.14	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
3	6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
6	10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1.00	1.60	2.5	3.9
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.30	0.46	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7
500	630	4.5	6	9	11	16	22	30	44	70	110	175	280	440	0.70	1.10	1.75	2.8	4.40	7.0	11.0
630	800	5	7	10	13	18	25	35	50	80	125	200	320	500	0.80	1.25	2.00	3.2	5.0	8.0	12.5
800	1000	5.5	8	11	15	21	29	40	56	90	140	230	360	560	0.90	1.40	2.30	3.6	5.6	9.0	14.0
1000	1250	6.5	9	13	18	24	34	46	66	105	165	260	420	660	1.05	1.65	2.60	4.2	6.6	10.5	16.5
1250	1600	8	11	15	21	29	40	54	78	125	195	310	500	780	1.25	1.95	3.10	5.0	7.8	12.5	19.5
1600	2000	9	13	18	25	35	48	65	92	150	230	370	600	920	1.50	2.30	3.70	6.0	9.2	15.0	23.0
2000	2500	11	15	22	30	41	57	77	110	175	280	440	700	1100	1.75	2.80	4.40	7.0	11.0	17.5	28.0
2500	3150	13	18	26	36	50	69	93	135	210	330	540	860	1350	2.12	3.30	5.40	8.6	13.5	21.0	33.0

注：基本尺寸小于 1mm 时，无 IT14 至 IT18。

表 21　常用及优先用途轴的极限偏差(GB1801 — 79)

基本尺寸 mm	公差带(带圈者为优先公差带),μm											
	a	*b*		*c*			*d*				*e*	
	11	11	12	9	10	⑪	8	⑨	10	11	7	8
>6～10	-280 -338	-150 -240	-150 -300	-80 -116	-80 -138	-80 -170	-40 -62	-40 -76	-40 -98	-40 -130	-25 -40	-25 -47
>10～18	-290 -400	-150 -260	-150 -330	-95 -138	-95 -165	-95 -205	-50 -77	-50 -93	-50 -120	-50 -160	-32 -50	-32 -59
>18～30	-300 -430	-160 -290	-160 -370	-110 -162	-110 -194	-110 -240	-65 -98	-65 -117	-65 -149	-65 -195	-40 -61	-40 -73
>30～40	-310 -470	-170 -330	-170 -420	-120 -182	-120 -220	-120 -280	-80 -119	-80 -142	-80 -180	-80 -240	-50 -75	-50 -89
>40～50	-320 -480	-180 -340	-180 -430	-130 -192	-130 -230	-130 -290						
>50～65	-340 -530	-190 -380	-190 -490	-140 -214	-140 -260	-140 -330	-100 -146	-100 -174	-100 -220	-100 -290	-60 -90	-60 -106
>65～80	-360 -550	-200 -390	-200 -500	-150 -224	-150 -270	-150 -340						
>80～100	-380 -600	-220 -440	-220 -570	-170 -257	-170 -310	-170 -390	-120 -174	-120 -207	-120 -260	-120 -340	-72 -107	-72 -126
>100～120	-410 -630	-240 -460	-240 -590	-180 -267	-180 -320	-180 -400						

基本尺寸 mm	公差带(带圈者为优先公差带),μm											
	e	*f*					*g*			*h*		
	9	5	6	⑦	8	9	5	⑥	7	5	⑥	⑦
>6～10	-25 -61	-13 -19	-13 -22	-13 -28	-13 -35	-13 -49	-5 -11	-5 -14	-5 -20	0 -6	0 -9	0 -15
>10～18	-32 -75	-16 -24	-16 -27	-16 -34	-16 -43	-16 -59	-6 -14	-6 -17	-6 -24	0 -8	0 -11	0 -18
>18～30	-40 -92	-20 -29	-20 -33	-20 -41	-20 -53	-20 -72	-7 -16	-7 -20	-7 -28	0 -9	0 -13	0 -21
>30～50	-50 -112	-25 -36	-25 -41	-25 -50	-25 -64	-25 -87	-9 -20	-9 -25	-9 -34	0 -11	0 -16	0 -25
>50～80	-60 -134	-30 -43	-30 -49	-30 -60	-30 -76	-30 -104	-10 -23	-10 -29	-10 -40	0 -13	0 -19	0 -30
>80～120	-72 -159	-36 -51	-36 -58	-36 71	-36 -90	-36 -123	-12 -27	-12 -34	-12 -47	0 -15	0 -22	0 -35

续　表

基本尺寸 mm	h 8	h ⑨	h 10	h ⑪	h 12	js 5	js 6	js 7	k 5	k ⑥	k 7	m 5
>6～10	0 −22	0 −36	0 −58	0 −90	0 −150	±3	±4.5	±7	+7 +1	+10 +1	+16 +1	+12 +6
>10～18	0 −27	0 −43	0 −70	0 −110	0 −180	±4	±5.5	±9	+9 +1	+12 +1	+19 +1	+15 +7
>18～30	0 −33	0 −52	0 −84	0 −130	0 −210	±4.5	±6.5	±10	+11 +2	+15 +2	+23 +2	+17 +8
>30～50	0 −39	0 −62	0 −100	0 −160	0 −250	±5.5	±8	±12	+13 +2	+18 +2	+27 +2	+20 +9
>50～80	0 −46	0 −74	0 −120	0 −190	0 −300	±6.5	±9.5	±15	+15 +2	+21 +2	+32 +2	+24 +11
>80～120	0 −54	0 −87	0 −140	0 −220	0 −350	±7.5	±11	±17	−18 +3	+25 +3	+38 +3	+28 +13

（表头：公差带(带圈者为优先公差带),μm）

基本尺寸 mm	m 6	m 7	n 5	n ⑥	n 7	p 5	p ⑥	p 7	r 5	r 6	r 7	s 5
>6～10	+15 +6	+21 +6	+16 +10	+19 +10	+25 +10	+21 +15	+24 +15	+30 +15	+25 +19	+28 +19	+34 +19	+29 +23
>10～18	+18 +7	+25 +7	+20 12	+23 +12	+30 +12	+26 +18	+29 +18	+36 +18	+31 +23	+34 +23	+41 +23	+36 +28
>18～30	+21 +8	+29 +8	+24 +15	+28 +15	+36 +15	+31 +22	+35 +22	+43 +22	+37 +28	+41 +28	+49 +28	+44 +35
>30～50	+25 +9	+34 +9	+28 +17	+33 +17	+42 +17	+37 +26	+42 +26	+51 +26	+45 +34	+50 +34	+59 +34	+54 +43
>50～65	+30 +11	+41 +11	+33 +20	+39 +20	+50 +20	+45 +32	+51 +32	+62 +32	+54 +41	+60 +41	+71 +41	+66 +53
>65～80									+56 +43	+62 +43	+73 +43	+72 +59
>80～100	+35 +13	+48 +13	+38 +23	+45 +23	+58 +23	+52 +37	+59 +37	+72 +37	+66 +51	+73 +51	+86 +51	+86 +71
>100～120									+60 +54	+76 +54	+89 +54	+94 +79

续　表

基本尺寸 mm	s 6	s 7	t 5	t 6	t 7	u ⑥	u 7	v 6	x 6	y 6	z 6
＞6～10	+32 +23	+38 +23	—	—	—	+37 +28	+43 +28	—	+43 +34	—	+51 +42
＞10～14	+39 +28	+46 +28	—	—	—	+44 +33	+51 +33	—	+51 +40	—	+61 +50
＞14～18			—	—	—			+50 +39	+56 +45	—	+71 +60
＞18～24	+48 +35	+56 +35	—	—	—	+54 +41	+62 +41	+60 +47	+67 +54	+76 +63	+86 +73
＞24～30			+50 +41	+54 +41	+62 +41	+61 +48	+69 +48	+68 +55	+77 +64	+88 +75	+101 +88
＞30～40	+59 +43	+68 +43	+59 +48	+64 +48	+73 +48	+76 +60	+85 +60	+84 +68	+96 +80	+110 +94	+128 +112
＞40～50			+65 +54	+70 +54	+79 +54	+86 +70	+95 +70	+97 +81	+113 +97	+130 +114	+152 +136
＞50～65	+72 +53	+83 +53	+79 +66	+85 +66	+96 +66	+106 +87	+117 +87	+121 +102	+141 +122	+163 +144	+191 +172
＞65～80	+78 +59	+89 +59	+88 +75	+94 +75	+105 +75	+121 +102	+132 +102	+139 +120	+165 +146	+193 +174	+229 +210
＞80～100	+93 +71	+106 +71	+106 +91	+113 +91	+126 +91	+146 +124	+159 +124	+168 +146	+200 +178	+236 +214	+280 +258
＞100～120	+101 +79	+114 +79	+119 +104	+126 +104	+139 +104	+166 +144	+179 +144	+194 +172	+232 +210	+276 +254	+332 +310

(公差带（带圈者为优先公差带），μm)

表 22　常用及优先用途孔的极限偏差(GB 1081 — 79)

基本尺寸 mm	A 11	B 11	B 12	C ⑪	D 8	D ⑨	D 10	D 11	E 8	E 9	F 6	F 7	F ⑧	F 9
＞6～10	+370 +280	+240 +150	+300 +150	+170 +80	+62 +40	+76 +40	+98 +40	+130 +40	+47 +25	+61 +25	+22 +13	+28 +13	+35 +13	+49 +13
＞10～18	+400 +290	+260 +150	+330 +150	+205 +95	+77 +50	+93 +50	+120 +50	+160 +50	+59 +32	+75 +32	+27 +16	+34 +16	+43 +16	+59 +16
＞18～30	+430 +300	+290 +160	+370 +160	+240 +110	+98 +65	+117 +65	+149 +65	+195 +65	+73 +40	+92 +40	+33 +20	+41 +20	+53 +20	+72 +20
＞30～40	+470 +310	+330 +170	+420 +170	+280 +120	+119 +80	+142 +80	+180 +80	+240 +80	+89 +50	+112 +50	+41 +25	+50 +25	+64 +25	+87 +25
＞40～50	+480 +320	+340 +180	+430 +180	+290 +130										
＞50～65	+530 +340	+380 +190	+490 +190	+330 +140	+146 +100	+170 +100	+220 +100	+290 +100	+106 +60	+134 +60	+49 +30	+60 +30	+76 +30	+104 +30
＞65～80	+550 +360	+390 +200	+500 +200	+340 +150										
＞80～100	+600 +380	+440 +220	+570 +220	+390 +170	+174 +120	+207 +120	+260 +120	+340 +120	+126 +72	+159 +72	+58 +36	+71 +36	+90 +36	+123 +36
＞100～120	+630 +410	+460 +240	+590 +240	+400 +180										

(公差带（带圈者为优先公差带），μm)

续 表

基本尺寸 mm	公差带(带圈者为优先公差带),μm														
	G		H							Js			K		
	6	⑦	6	⑦	⑧	⑨	10	⑪	12	6	7	8	6	⑦	8
>6～10	+14 +5	+20 +5	+9 0	+15 0	+22 0	+36 0	+58 0	+90 0	+150 0	±4.5	±7	±11	+2 −7	+5 −10	+6 −16
>10～18	+17 +6	+24 +6	+11 0	+18 0	+27 0	+43 0	+70 0	+110 0	+180 0	±5.5	±9	±13	+2 −9	+6 −12	+8 −19
>18～30	+20 +7	+28 +7	+13 0	+21 0	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0	+210 0	±6.5	±10	±16	+2 −11	+6 −15	+10 −23
>30～50	+25 +9	+34 +9	+16 0	+25 0	+39 0	+62 0	+100 0	+160 0	+250 0	±8	±12	±19	+3 −13	+7 −18	+12 −27
>50～80	+29 +10	+40 +10	+19 0	+30 0	+46 0	+74 0	+120 0	+190 0	+300 0	±9.5	±15	±23	+4 −15	+9 −21	+14 −32
>80～120	+34 +12	+47 +12	+22 0	+35 0	+54 0	+87 0	+140 0	+220 0	+350 0	±11	±17	±27	+4 −18	+10 −25	+16 −38

基本尺寸 mm	公差带(带圈者为优先公差带),μm														
	M			*N*			*P*		*R*		*S*		*T*		*U*
	6	7	8	6	⑦	8	6	⑦	6	7	6	⑦	6	7	⑦
>6～10	−3 −12	0 −15	+1 −21	−7 −16	−4 −19	−3 −25	−12 −21	−9 −24	−16 −25	−13 −28	−20 −29	−17 −32	—	—	−22 −37
>10～18	−4 −15	−0 −18	+2 −25	−9 −20	−5 −23	−3 −30	−15 −26	−11 −29	−20 −31	−16 −34	−25 −36	−21 −39	—	—	−26 −44
>18～24	−4 −17	0 −21	+4 −29	−11 −24	−7 −28	−3 −36	−18 −31	−14 −35	−24 −37	−20 −41	−31 −44	−27 −48	—	—	−33 −54
>24～30													−37 −50	−33 −54	−40 −61
>30～40	−4 −20	0 −25	+5 −34	−12 −28	−8 −33	−3 42	−21 −37	−17 −42	−29 −45	−25 −50	−38 −54	−34 −59	−43 −65	−39 −64	−51 −76
>40～50													−49 −65	−45 −70	−61 −86
>50～65	−5 −24	0 −30	+5 −41	−14 −33	−9 −39	−4 −50	−26 −45	−21 −51	−35 −54	−30 −60	−47 −66	−42 −72	−60 −79	−55 −85	−76 −106
>65～80									−37 −56	−32 −62	−53 −72	−48 −78	−69 −88	−64 −94	−91 −121
>80～100	−6 −28	0 −35	+6 −48	−16 −38	−10 −45	−4 −58	−30 −52	−24 −59	−44 −66	−38 −73	−64 −86	−58 −93	−84 −106	−78 −113	−111 −146
>100～120									−47 −69	−41 −76	−72 −94	−66 −101	−97 −119	−91 −126	−131 −166

9. 常用工程材料

表 23　钢与铸铁

名　称	牌　号	应用举例	说　明
碳素结构钢(GB700－88)	Q215－A	拉杆、套圈、铆钉、螺栓、短轴、心轴,负荷不大的凸轮、吊钩、垫圈及焊接件。	牌号由屈服点的字母Q("屈"字的汉语拼音首位字母),屈服点数值(单位MPa),单位等级符号(A、B等)和脱氧方法符号(沸腾钢用F,半镇静钢用b)按顺序写成。
	Q235－A	有较高强度和硬度,是一般机械的主要材料,吊钩、拉杆、车钩、套圈、气缸、齿轮、螺栓、螺母、连杆、轮轴、楔、盖及焊接件等。	
	Q275	转轴、心轴、销轴、链轮、刹车杆、螺栓、螺母、垫圈、连杆、吊钩、楔、齿轮、键以及其它强度需较高的零件。这种钢焊接性尚可。	
优质碳素结构钢(GB699－88)	15	塑性、韧性、焊接性和冷冲性均极良好,但强度较低。用于制造受力不大、韧性要求较高的零件、紧固件、冲模锻件及不要热处理的低负荷零件,如螺栓、螺钉、拉条、法兰盘及化工贮器、蒸汽锅炉等。	牌号的两位数字表示平均含碳量,45号钢即表示平均含碳量为0.45%。 含锰量较高的钢,须加注化学元素符号"Mn"。
	20	用于不受很大应力而要求很大韧性的各种机械零件,如杠杆、轴套、螺钉、拉杆、起重钩等。也用于制造压力＜6MPa、温度＜450℃的非腐蚀介质中使用的零件,如管子、导管等。	
	25	性能与20号钢相似,用于制造焊接设备,以及轴辊子、连接器、垫圈、螺栓、螺钉、螺母等。焊接性及冷应变塑性均好。	
	30	具有良好的强度和韧性综合性能。在化工机械方面,用于制造应力不大、工作温度不高于150℃的零件,如螺钉、丝杆、拉杆、套筒、轴等。	
	35	性能与30号钢相似,用于制造曲轴、转轴、轴销、杠杆、连杆、楔梁、星轮、圆盘、套筒、钩环、垫圈、螺钉、螺母等。一般不作焊接用。	
	45	用于强度要求较高的零件,如汽轮机的叶轮、压缩机、泵的零件等。	
	50	用于耐磨性要求高、动负荷及冲击作用不大的零件,如锻造齿轮、拉杆、轧辊、轴、摩擦盘、次要弹簧、农业机械上用的掘土犁铧、重负荷心轴与轴等。这种钢焊接性不好。	
	15Mn	它的性能与15号钢相似,但其淬透性、强度和塑性比15号钢都高些。用于制造中心部分的机械性能要求较高且需渗碳的零件。这种钢焊接性好。	
	45Mn	用于受磨损的零件,如转轴、心轴、齿轮、叉、啮合杆、螺栓、螺母、螺钉。焊接性较差。负荷较大,还可做离合器盘、花键轴、万向节、凸轮轴、曲轴、汽车后轴、双头螺柱、地脚螺栓等。	
	65Mn	强度高,淬透性较好,脱碳倾向小,但有过热敏感性、易产生淬火裂纹,并有回火脆性。适宜作大尺寸的各种扁、圆弹簧,如座板簧、弹簧发条。	

续　表

碳素工具钢(GB1298—86)	T7 T7A	能承受震动和冲击的工具,硬度适中时有较大的韧性。用作:凿子、钻软岩石的钻头、冲击式打眼机钻头、大锤等。	用"碳"或"T"后附以平均含碳量的千分数表示,有T7～T13。高级优质碳素工具钢须在牌号后加注"A"。 平均含碳量约为0.7～1.3%。
	T8 T8A	有足够的韧性和较高的硬度,用于制造能承受震动的工具,如钻中等硬度岩石的钻头,简单模子,冲头等。	
合金结构钢(GB3077—88)	20Mn2	对于截面较小的零件,相当于20Cr钢,可作渗碳小齿轮、小轴、活塞销、柴油机套筒、气门推杆、钢套等。	牌号前面两位数字表示钢中平均含碳量万分之几,随后以化学元素符号标出钢中所含各主要元素,后为表示合金元素含量的数字(平均含量的百分之几)。合金元素平均含量小于1.5%,仅标注元素,大于1.5%时,才标出含量数字。
	45Mn2	用于制造在较高应力与磨损条件下的零件。在直径≤60mm时,与40Cr相当。可做万向节轴、齿轮、蜗杆、曲轴等。	
	15Cr	船舶主机用螺栓、活塞销,凸轮,凸轮轴,汽轮机套环,以及机车用小零件等,用于心部韧性较高的渗碳零件。	
	40Cr	用于较重要的调质零件,如汽车转向节、连杆、螺栓、进气阀,重要齿轮、轴等。	
	35SiMn	除要求低温(－20℃),冲击韧性很高时,可全面代替40Cr钢作调质零件,亦可部分代替40CrNi钢。此钢耐磨、耐疲劳性均佳,适用于作轴、齿轮及在430℃以下的重要紧固件。	
	18CrMnTi	工艺性能特优,用于汽车、拖拉机上的重要齿轮和一般强度、韧性均高的减速器齿轮,供渗碳处理。	
一般工程用铸造碳钢(GB11352—89)	ZG230—450	铸造平坦的机件,如机座、变速箱壳体等。	ZG是"铸钢"二字汉语拼音首位字母,后面数字分别表示屈服点和抗拉强度的数值,单位是MPa。
	ZG270—500	用于各种形状的机件,如飞轮、机架、蒸汽锤、水压机工作缸、横梁等,焊接性尚可。	
	ZG310—570	用于各种形状的机件,如联轴器、轮、汽缸、齿轮、齿轮圈及重负荷的机架等。	
灰铸铁(GB9439—88)	HT150	用于制造端盖、汽轮泵体、轴承座、阀壳、管子及管路附件、手轮;一般机床底座、床身、滑座、工作台等。	"HT"为灰、铁二字汉语拼音的第一个字母。后面一组数字,表示抗拉强度值,单位为MPa。
	HT200	用于制造汽缸、齿轮、底架、机体、飞轮、齿条、衬筒;一般机床铸有导轨的床身及中等压力(8MPa以下)的液压筒、液压泵和阀体等。	
	HT250	用于制造阀壳、油缸、联轴器、机体、齿轮、齿轮箱外壳、飞轮、衬筒、凸轮、轴承座等。	
	HT300 HT350	用于制造齿轮、凸轮、车床卡盘、剪床、压力机的机身;导板、六角自动车床及其它重负荷机床铸有导轨的床身;高压液压筒、液压泵和滑阀的壳体等。	
球墨铸铁(GB1348—88)	QT400—15 QT450—10 QT500—7 QT600—3	具有较高强度的塑性。广泛用于制造受磨损、高压力和受冲击的零件,如轧辊、曲轴、凸轮轴、齿轮、汽缸套、活塞环、摩擦片、中低压阀门、千斤顶底座、轴承座等。	"QT"是球墨铸铁的代号,它是"球、墨"两字汉语拼音的第一个字母,后面的数字分别表示抗拉强度(MPa)和延伸率(%)的大小。

表24 有色金属材料

名称	牌号	应用举例	说明
铸造铜合金 (GB1176—87)	ZCuSn5Pb5Zn5	用于较高负荷、中等滑动速度下工作的耐磨耐腐蚀零件，如轴瓦、衬套、缸套、活塞、离合器、泵体、压盖、蜗轮等。	牌号由基本金属及主要合金元素的化学符号表示。主要合金化元素后的数字是其名义百分含量。若其含量大于或等1%时，用整数标注，若小于1%时，一般不标注。"Z"表示铸造，是"铸"字汉语拼音字母的第一个大写字母，冠在牌号之前。
	ZCuSn10Pb1	用于高负荷(20Mpa以下和高滑动速度(8m/s)下工作的耐磨零件，如连杆、衬套、轴瓦、齿轮、蜗轮等。	
	ZCuPb15Sn8	用于表面压力高又有侧压力的轴承、冷轧机的铜冷却筒、内燃机的双金属轴瓦、最大负荷达70MPa的活塞销套、耐酸配件。	
	ZCuAl10Fe3	用于要求强度高、耐磨、耐蚀的重要铸件，如轴套、螺母、蜗轮以及250℃以下工作的管配件。	
	ZCuAl10F3Mn2	用于要求强度高、耐磨、耐蚀的零件，如齿轮、轴承、衬套、管嘴以及耐热管配件。	
	ZCuZn38	用于一般结构件和耐蚀零件，如法兰、阀座、支架、手柄和螺母等。	
	ZCuZn38Mn2Pb2	一般用途的结构件，船舶、仪表等使用的外形简单的铸件，如套筒、衬套、轴瓦、滑块等。	
铸造铝合金 (GB1173—86)	ZAlSi12	这是铝硅合金。用于制造汽缸活塞以及在高温工作的受冲击载荷的复杂薄壁零件。	
	ZAlMg5Si1	这是铝镁合金。用于制造高耐蚀性或在高温条件下工作的零件。	
	ZAlZn11Si7	这是铝锌合金。耐蚀性差，铸造性能较好，可不热处理。用于制造形状复杂的大型薄壁零件。	

表 25　非金属材料

名称		牌号	应用举例	说明
工业用硫化橡胶板 (GB5584－85)	耐酸碱橡胶板	2707 2709	具有耐酸碱性能，在温度－30～＋60℃的20%浓度的酸碱液体中工作，用作冲制密封性能较好的垫圈。	较高硬度 中等硬度
	耐油橡胶板	3707 3709	可在一定温度的机油、变压器油、汽油等介质中工作，适用冲制各种形状的垫圈。	较高硬度
	耐热橡胶板	4708 4710	可在－30～＋100℃、且压力不大的条件下，于热空气、蒸汽介质中工作，用作冲制各种垫圈和隔热垫板。	较高硬度 中等硬度
尼龙	尼龙 66 尼龙 1010		用以制作机械传动零件；有良好的灭音性，运转时噪声小，常用来做齿轮等零件。	有高的抗拉强度和良好的冲击韧性，一定的耐热性（可在100℃以下使用），能耐弱酸、弱碱，耐油性良好。
石棉制品	橡胶石棉盘根 (JC67－82)	XS450 XS350	适用于作蒸汽机、往复泵的活塞和阀门杆上作密封材料。	该型号盘根只有F(方形)形。
	油浸石棉盘根 (JC68－82)	YS350 YS250	适用于回转轴、往复活塞或阀门杆上作密封材料，介质为蒸汽、空气、工业用水、重质石油产品。	盘根形状分F(方形)、Y(圆形)、N(扭制)三种，按需选用。
酚醛层压布板 (GB5129.3－85)		PFCC1 PFCC2	机械性能好，用以制造各种机械零件。	厚度 0.4～100mm。
工业用毛毡 (FJ314－81)		各类毛毡均有品号	用作密封、防漏油、防震、缓冲衬垫等。按需要选用细毛、半粗毛、粗毛。	厚度为 1.5～25mm。
聚四氟乙稀		SFL－4～13	用于腐蚀介质中，起密封和减磨作用，用作垫圈等。	耐腐蚀、耐高温(＋250℃)并具有一定的强度，能切削加工成各种零件。
工业有机玻璃 (GB7134－86)			适用于耐腐蚀和需要透明的零件。	耐盐酸、硫酸、草酸、烧碱和纯碱等一般酸、碱以及二氧化硫、臭等气体腐蚀。 板材厚度 1～45mm。

10. 热处理

表 26　热处理名词解释

热处理方法	解　释	应　用
退　火	退火是将钢件(或钢坯)加热到临界温度*以上 30～50℃,保温一段时间,然后再缓慢地冷下来(一般用炉冷)	用来消除铸锻件的内应力和组织不均匀及晶粒粗大等现象。消除冷轧坯件的冷硬现象和内应力,降低硬度以便切削
正　火	正火也是将坯件加热到临界温度以上,保温一段时间然后用空气冷却,冷却速度比退火快	用来处理低碳和中碳结构钢件及渗碳机件,使其组织细化增加强度与韧性。减少内应力,改善低碳钢的切削性能
淬　火	淬火是将钢件加热到临界温度以上,保温一段时间然后在水、盐水或油中(个别材料在空气中)急冷下来,使其得到高硬度	用来提高钢的硬度和强度,但淬火时会引起内应力使钢变脆,所以淬火后必须回火
表面淬火 高　频 表面淬火	表面淬火是使零件表面获得高硬度和耐磨性,而心部则保持塑性和韧性 利用高频感应电流使钢件表面迅速加热,并立即喷水冷却,淬火表面具有高的机械性能,淬火时不易氧化及脱碳,变形小,淬火操作及淬火层易实现精确的电控制与自动化,生产率高	对于各种在动负荷及摩擦条件下工作的齿轮、凸轮轴、曲轴及销子等,都要经过这种处理。 表面淬火必须采用含碳量大于 0.35% 的钢,因为含碳量低淬火后增加硬度不大,一般都是些淬透性较低的碳钢及合金钢(如 45,40Cr,40Mn2,9CrSi 等)
回　火	回火是将淬硬的钢件加热到临界温度以下的某一种温度后,保温一定时间然后在空气中或油中冷却下来	用来消除淬火后的脆性和内应力,提高钢的冲击韧性
调　质	淬火后高温回火,称为调质	用来使钢获得高的韧性和足够的强度,很多重要零件是经过调质处理的
渗　碳	渗碳是向钢表面层渗碳的过程,一般渗碳温度 900～930℃,使低碳钢或低碳合金钢的表面含碳量增高到 0.8～1.2%,经过适当热处理表面层得到的高的硬度和耐磨性,提高疲劳强度	为了保证心部的高塑性和韧性,通常采用含碳量为 0.08～0.25 的低碳钢和低合金钢,如齿轮、凸轮及活塞销等
氮　化	氮化是向钢表面层渗氮的过程,目前常用气体氮化法,即利用氨气加热时分解的活性氮原子渗入钢中	氮化后不再进行热处理,用于某种含铬、钼或铝的特种钢,以提高硬度和耐磨性,提高疲劳强度及抗蚀能力
氰　化	氰化是同时向钢表面渗碳及渗氮的过程,常用液体碳化法处理,不仅比渗碳处理有较高硬度和耐磨性而且兼有一定耐磨蚀和较高的抗疲劳能力。在工艺上比渗碳或氮化时间短	主要用于提高各种高速钢刀具的耐磨性,对于各种中碳钢及合金钢的小型结构零件获得一层很薄的碳化层增加表面耐磨性及疲劳强度。也可用于低碳钢结构零件代替渗碳法,称深碳化法或液体渗碳法
发　黑 发　蓝	使钢的表面形成氧化膜的方法叫"发黑、发蓝"	钢铁的氧化处理(发黑、发蓝)可用来提高其表面抗腐蚀能力和使外表美观但其抗腐蚀能力并不理想,一般只能用于空气干燥及密闭的场所

* 不同钢号临界温度是不同的,一般为 710～750℃,个别合金钢到 800℃ 或 900℃。

11. 制图新标准简介

国家技术监督局近年来批准、发布的制图新标准有：

(1) GB/T 13361 — 92 技术制图 通用术语

该标准规定了技术制图通用术语及其定义，并给出相应的英文词条。包括基础术语、一般规定术语、画法术语和图的种类术语。适用于各类技术图样与技术文件，以及工程技术手册、教材等出版物。

(2) GB/T 14689 — 93 技术制图 图纸幅面和格式(代替 GB4457.1 — 84)

该标准规定了图纸的幅面尺寸的格式、标题栏的方位、附加符号、图幅分区、米制参考分度以及对预先印刷图纸的要求。适用于技术图样及有关文件。

(3) GB/T 14690 — 93 技术制图 比例(代替 GB4457.2 — 84)

该标准规定了绘图比例、标注方法、术语、比例系数等，适用于技术图样及有关文件。

(4) GB/T 14691 — 93 技术制图 字体(代替 GB4457.3 — 84)

该标准规定了汉字、字母和数字的结构形式及其基本尺寸和要求，适用于技术图样及有关文件。

(5) GB/T 14692 — 93 技术制图 投影法

该标准规定了投影法的基本规则、术语、投影法分类、正投影法、轴测投影、透视投影以及第三角画法。适用于技术图样及有关文件。

(6) GB/T 131 — 93 机械制图 表面粗糙度符号、代号及其注法(代替 GB131 — 83)

该标准规定了零件表面粗糙度符号、代号及其在图样上的注法。适用于机电产品及有关技术文件，其它图样和有关文件，也可参照采用。

本教材和习题集均已及时采用了这些新标准。

这些新标准的国家标准代号，均为 GB/T，现将其作一说明。

我国国家技术监督局于1990年8月14日发布实施的《国家标准管理方法》中规定，国家标准、行业标准分为强制性标准和推荐性标准。

强制性标准，必须执行。推荐性标准，国家鼓励企业自愿采用。

强制性国家标准的代号为“GB”。推荐性国家标准的代号为“GB/T”。

国家标准的编号，由国家标准的代号，国家标准发布的顺序号和国家标准发布的年号构成。例如：GB/T 13361 — 92 表示该标准是推荐性国家标准，发布的顺序号为 13361，1992 年发布。

制图的国家标准一般均属推荐性国家标准。

参考书目

1. 浙江大学工程制图教研室编，简明机械手册．第一版．杭州：浙江科技出版社．1982

2. 陈国升、赵矩骥主编，工程制图．第一版．杭州：浙江科技出版社．1982

3.《国家标准机械制图应用示例图册》编写组编．国家标准机械制图应用示例图册．第一版．北京：中国标准出版社．1984

4. 上海交通大学、浙江大学、南京工学院《计算机制图》编写组编．计算机制图，第一版．北京：高等教育出版社．1984

5. 大连工学院工程画教研室编．机械制图．第三版．北京：高等教育出版社．1985

6. 同济大学．上海交通大学等院校《机械制图》编写组编。机械制图（非机械类各专业用）．第三版．北京：高等教育出版社．1988

7. 邬克农主编．机械制图．第一版，武汉：华中理工大学出版社．1988

8. 金廷赞著．计算机图形学．第一版．浙江大学出版社．1988

9. 华中理工大学等院校编．画法几何及机械制图．第四版．北京：高等教育出版社．1989

10. 许锡祺、徐伯良主编，机械制图．中央广播电视大学出版社，1989

11. 王之煦、金水棠、范崇夏编著，新标准机械图图集，第一版，北京：机械工业出版社．1991

12. 柯纯、吴中奇主编．工程制图．第二版．杭州：浙江大学出版社．1991

13. 胡树根、卓守鹏主编．计算机绘图　辅助设计　辅助制造．第一版．成都：电子科技大学出版社．1993

［Ｇｅｎｅｒａｌ Ｉｎｆｏｒｍａｔｉｏｎ］
书名＝画法几何及工程制图（第三版）
作者＝
页数＝３３９
ＳＳ号＝１０１９０６７７
出版日期＝